

# Estrelas Variáveis Cefeidas Como Indicadores de Distâncias

Eduardo Brescansin de Amôres, Raquel Yumi Shida (IAG-USP)

## 1. INTRODUÇÃO

### O que aprenderei nesta atividade?

Você aprenderá como os astrônomos calculam a distância até uma estrela do tipo cefeida ou mesmo até uma galáxia próxima através de aquisição de imagens e medições de brilho.

### O que são estrelas variáveis cefeidas? Um breve histórico

Em 1784 uma estrela na constelação de Cepheus foi observada em várias noites por John Goodricke, que notou que a estrela tornava-se brilhante e depois diminuía seu brilho. As flutuações no brilho repetiam-se novamente a cada cinco dias. Essa foi a primeira estrela cefeida descoberta.

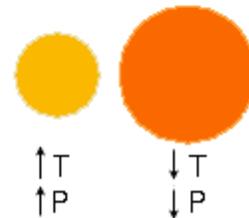
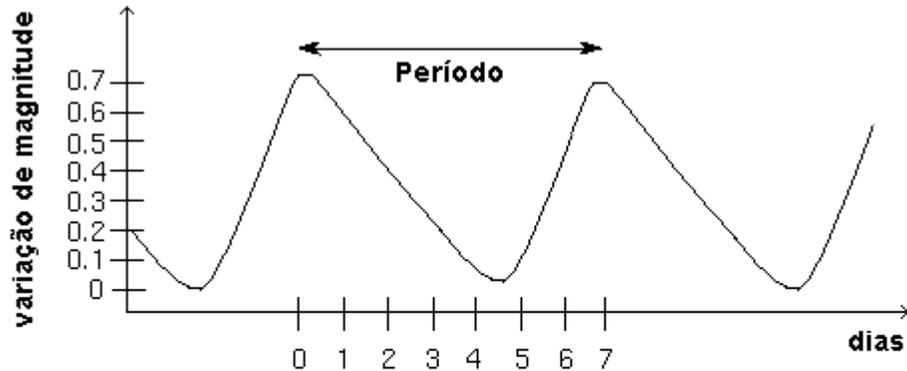
Em 1908, no Harvard College Observatory (E.U.A.), Henrietta Leavitt analisou algumas fotografias de duas pequenas galáxias que estão próximas da Via-Láctea, chamadas de nuvens de Magalhães (Pequena e Grande Nuvem de Magalhães). Ela estudou as cefeidas nas nuvens de Magalhães e notou um padrão de flutuação no brilho: as cefeidas mais brilhantes tinham ciclos maiores de flutuação e a diminuição no brilho variava rapidamente. Leavitt percebeu que todas as estrelas estavam aproximadamente às mesmas distâncias, então comparou o brilho aparente de cada estrela. Apenas através do estudo das cefeidas nas nuvens de Magalhães, ela foi capaz de elaborar uma lei entre luminosidade e o período, elaborando então um diagrama período-luminosidade.



Henrietta Leavitt

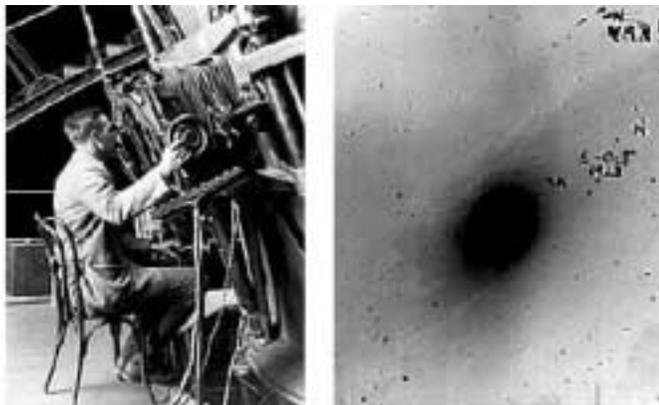
Henrietta descobriu também que o período de variação de brilho destas estrelas era inversamente proporcional a sua magnitude, e quanto mais brilhante a estrela, mais lento era o ciclo. Mais ainda, ela mostrou que os ciclos não só dependem do

brilho que as estrelas parecem ter (brilho aparente), mas também da quantidade de energia que emitem (luminosidade intrínseca ou absoluta).



A curva de luz acima é um exemplo de como varia o brilho de uma cefeida ao longo do tempo. Note que a diminuição de brilho é mais rápida que o aumento. A variação de magnitude ocorre por causa de pulsações no interior da estrela: o raio, a pressão e a temperatura variam constantemente

Na década de 1920 o astrônomo Edwin Hubble fez uma importante descoberta. Através de imagens adquiridas com um telescópio de 2,5 metros na Califórnia (E.U.A.), ele descobriu estrelas cefeidas numa nebulosa localizada na constelação de Andrômeda. Calculando a distância dessas estrelas, ele percebeu que a nebulosa estava muito além das fronteiras da nossa galáxia, e essa nebulosa era na realidade, uma outra galáxia. Hoje ela é conhecida simplesmente como galáxia de Andrômeda.



O astrônomo Edwin Hubble em seu ambiente de trabalho e o negativo de uma imagem feita por ele da galáxia de Andrômeda. Acima à direita, "VAR!" aponta para uma estrela variável cefeida que fora recém descoberta

## O diagrama período-luminosidade

O diagrama período-luminosidade permite aos astrônomos inferir a luminosidade de uma cefeida simplesmente através da medida do período das flutuações do brilho. A luminosidade de uma estrela geralmente não pode ser medida diretamente, mas uma vez determinada por outros métodos ela nos permite determinar a distância da estrela. A técnica para determinar a distância de uma cefeida requer os três passos descritos a seguir:

- 1) Medir o período das flutuações e inferir a luminosidade da cefeida
- 2) Usar uma estrela-padrão para calibrar a imagem e determinar o brilho aparente da cefeida
- 3) Usar a equação do brilho aparente para calcular a distância da estrela, ou seja:

$$\text{brilho aparente} = \text{luminosidade} / 4 \pi d^2$$

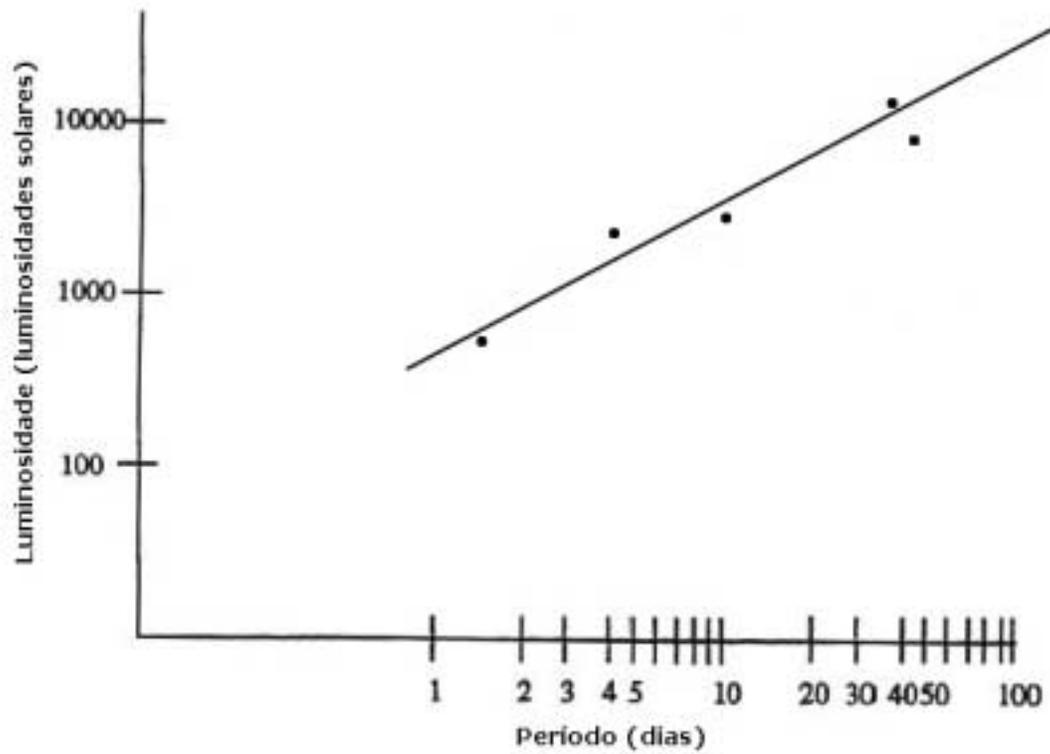
Para medirmos o período das flutuações, a cefeida deve ser observada no mínimo em 4 noites por algumas semanas. O número de contagens medido para a cefeida irá variar de noite para noite, devido às seguintes razões:

- 1) variação nas condições observacionais
- 2) variação na luminosidade da estrela

Para obtermos um gráfico da variação da luminosidade da cefeida devemos remover os efeitos da atmosfera. Para levar em conta as condições observacionais nós devemos usar a medida do brilho aparente da estrela padrão. Se a estrela cefeida e a estrela de referência estiverem na mesma imagem, as condições observacionais serão as mesmas para ambas as estrelas. Em geral, as condições observacionais irão mudar, de forma que o número de contagens medido para a estrela de referência irá aumentar ou diminuir dependendo da quantidade de luz da estrela que irá atravessar a atmosfera. Se a atmosfera bloquear uma grande quantidade de luz em uma noite, então ambas as estrelas terão uma diminuição no brilho; em uma noite clara, as duas estrelas aparecerão brilhantes.

Se a cefeida tem luminosidade constante, a razão das contagens entre a cefeida e a estrela de referência permanecerá constante. A luminosidade da cefeida, entretanto não é constante. Como a luminosidade da cefeida aumenta (ou diminui), devido às variações internas na estrela, a razão entre as contagens medidas para a estrela de referência e a cefeida aumentarão (ou diminuirão). Através da medida dessa razão para cada imagem, você poderá elaborar um gráfico com o verdadeiro brilho das flutuações da cefeida.

Diagrama período-luminosidade para uma estrela cefeida



## 2. ATIVIDADES

### Atividade I - Elaborando um gráfico da curva de luz para uma cefeida através de imagens arquivadas

Uma cefeida foi monitorada por um período de 15 dias. Você deverá medir o brilho da estrela em cada noite e elaborar uma curva de luz para a estrela. A curva de luz é um gráfico com o brilho no eixo vertical e o tempo (dias) no eixo horizontal.

**Sobre as imagens:** No arquivo há 8 imagens, MAI06CEP, MAI08CEP, MAI10CEP, MAI11CEP, MAI14CEP MAI15CEP MAI18CEP e MAY21CEP. É recomendável trabalharmos uma imagem por vez. Cada arquivo contém uma imagem da estrela cefeida e uma imagem da estrela de referência observada numa dada noite. A cefeida é a estrela da esquerda e a estrela de referência está na direita.

1. Use a função "Abertura" no menu "Análise" para medir as contagens da cefeida e da estrela de referência. Anote os dados na "Tabela 1" a seguir:

Noites	1	3	5	6	9	10	13	15
	MAI06	MAI08	MAI10	MAI11	MAI14	MAI15	MAI18	MAI21
Cefeida								
Referência								
Razão								

Tabela 1

2. Encontre a razão  $C_C/C_{R_i}$ , onde  $C_C$  representa as contagens da cefeida e  $C_{R_i}$  as contagens da estrela de referência. Anote os resultados na "Tabela 1" acima.

3. *Plote* seus dados de contagens e datas no "gráfico 1" na próxima página. Seja cuidadoso para pular noites em que não foram realizadas observações.

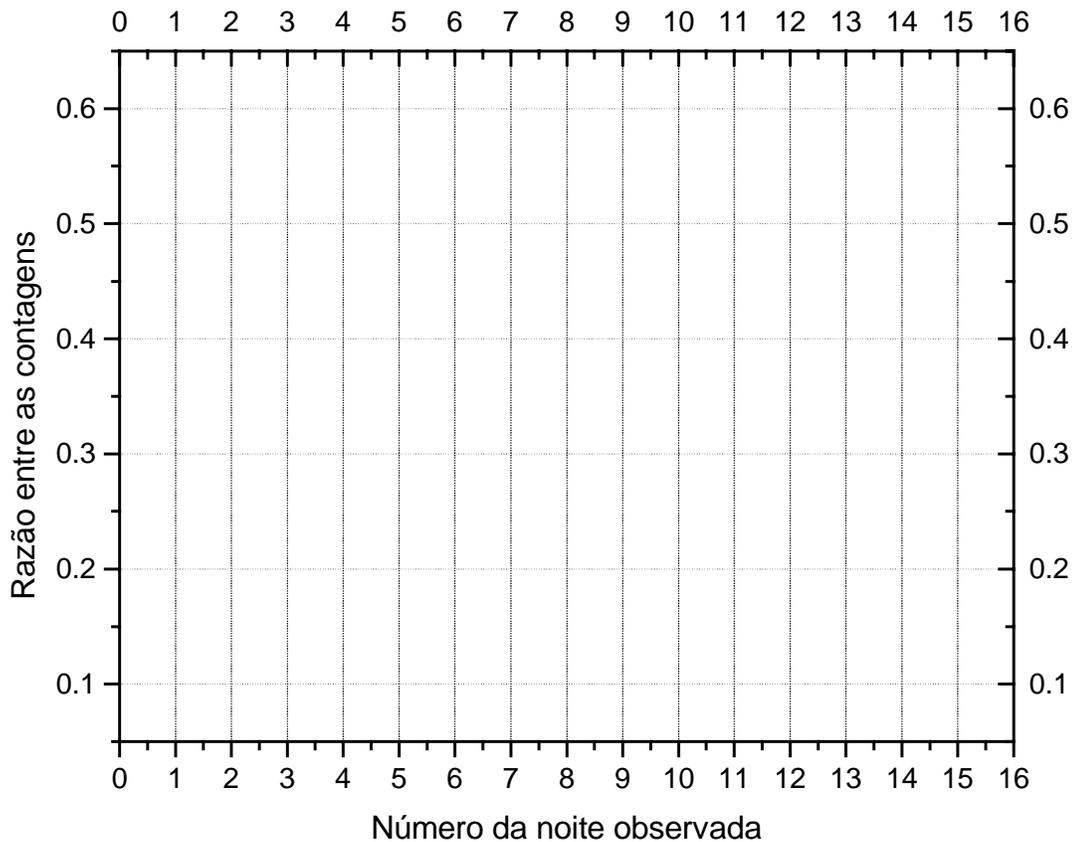


Gráfico 1

4. Qual é o período para esta cefeida?

### Atividade II - Determinando a luminosidade para uma cefeida

As observações das cefeidas foram feitas no filtro visível (V). Esse filtro bloqueia a maior parte da luz, exceto no comprimento de onda que corresponde à parte amarelo-verde do espectro. Quando você calcular a luminosidade e o brilho aparente de uma cefeida, deve ter em mente que os valores são válidos somente para a luz no filtro V.

1. Use o diagrama período-luminosidade para estimar a luminosidade (página 4) da cefeida medida na atividade I. Note que a luminosidade é dada em unidades solares, onde 1000 significa 1000 vezes a luminosidade do Sol.



2. Use o valor da luminosidade Solar no filtro V para calcular  $L(V)$  das suas estrelas cefeidas em Watts.  $L(V)$  do Sol =  $5,7 \times 10^{25}$  Watts.

### Atividade III – Determinando a distância até uma estrela cefeida

A magnitude aparente em V da estrela de referência é 8,0. A partir da tabela de conversão de brilho em anexo, vemos que esta estrela possui um brilho aparente em V de  $2,28 \times 10^{-12}$  Watts/m<sup>2</sup>.

1. Calcule o brilho aparente para a cefeida.

Dicas: brilho aparente da cefeida:  $B_C = (C_C / C_R) \cdot B_R$  (onde  $B_R = 2,28 \times 10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>). Aqui para o valor:  $C_C / C_R$ , podemos fazer uma média entre os valores das razões da tabela da atividade I, ou seja somar todos os valores e dividir por 8 (noites).

2. Use a luminosidade em V para a estrela cefeida e a equação para o brilho aparente para a determinar a distância  $d$  da cefeida em metros.

Dica: distância da cefeida em metros:  $d^2 = L / 4\pi B_C$

3. Determine a magnitude aparente da cefeida (filtro V) a partir da tabela de conversão de brilho aparente (obtido no item 1) em magnitude aparente e vice-versa. A tabela está na próxima página.

4. Converta a distância para unidades de anos-luz. 1 ano-luz =  $9,46 \times 10^{15}$  m.

## ANEXO

### Tabelas de Conversão Entre Magnitudes e Watt/m<sup>2</sup>

Mag.	I	R	V	B	U	Bolometric
5.0	2.40 x 10 <sup>-11</sup>	1.65 x 10 <sup>-11</sup>	3.61 x 10 <sup>-11</sup>	9.24 x 10 <sup>-11</sup>	1.83 x 10 <sup>-11</sup>	2.40 x 10 <sup>-10</sup>
5.1	2.19 x 10 <sup>-11</sup>	1.51 x 10 <sup>-11</sup>	3.29 x 10 <sup>-11</sup>	8.43 x 10 <sup>-11</sup>	1.67 x 10 <sup>-11</sup>	2.19 x 10 <sup>-10</sup>
5.2	2.00 x 10 <sup>-11</sup>	1.37 x 10 <sup>-11</sup>	3.01 x 10 <sup>-11</sup>	7.69 x 10 <sup>-11</sup>	1.52 x 10 <sup>-11</sup>	2.00 x 10 <sup>-10</sup>
5.3	1.82 x 10 <sup>-11</sup>	1.25 x 10 <sup>-11</sup>	2.74 x 10 <sup>-11</sup>	7.02 x 10 <sup>-11</sup>	1.39 x 10 <sup>-11</sup>	1.82 x 10 <sup>-10</sup>
5.4	1.66 x 10 <sup>-11</sup>	1.14 x 10 <sup>-11</sup>	2.50 x 10 <sup>-11</sup>	6.40 x 10 <sup>-11</sup>	1.27 x 10 <sup>-11</sup>	1.66 x 10 <sup>-10</sup>
5.5	1.52 x 10 <sup>-11</sup>	1.04 x 10 <sup>-11</sup>	2.28 x 10 <sup>-11</sup>	5.84 x 10 <sup>-11</sup>	1.16 x 10 <sup>-11</sup>	1.52 x 10 <sup>-10</sup>
5.6	1.38 x 10 <sup>-11</sup>	9.52 x 10 <sup>-12</sup>	2.08 x 10 <sup>-11</sup>	5.33 x 10 <sup>-11</sup>	1.06 x 10 <sup>-11</sup>	1.38 x 10 <sup>-10</sup>
5.7	1.26 x 10 <sup>-11</sup>	8.69 x 10 <sup>-12</sup>	1.90 x 10 <sup>-11</sup>	4.86 x 10 <sup>-11</sup>	9.63 x 10 <sup>-12</sup>	1.26 x 10 <sup>-10</sup>
5.8	1.15 x 10 <sup>-11</sup>	7.92 x 10 <sup>-12</sup>	1.73 x 10 <sup>-11</sup>	4.44 x 10 <sup>-11</sup>	8.79 x 10 <sup>-12</sup>	1.15 x 10 <sup>-10</sup>
5.9	1.05 x 10 <sup>-11</sup>	7.23 x 10 <sup>-12</sup>	1.58 x 10 <sup>-11</sup>	4.05 x 10 <sup>-11</sup>	8.02 x 10 <sup>-12</sup>	1.05 x 10 <sup>-10</sup>
6.0	9.57 x 10 <sup>-12</sup>	6.60 x 10 <sup>-12</sup>	1.44 x 10 <sup>-11</sup>	3.69 x 10 <sup>-11</sup>	7.32 x 10 <sup>-12</sup>	9.57 x 10 <sup>-11</sup>
6.1	8.76 x 10 <sup>-12</sup>	6.02 x 10 <sup>-12</sup>	1.32 x 10 <sup>-11</sup>	3.37 x 10 <sup>-11</sup>	6.68 x 10 <sup>-12</sup>	8.76 x 10 <sup>-11</sup>
6.2	7.99 x 10 <sup>-12</sup>	5.49 x 10 <sup>-12</sup>	1.20 x 10 <sup>-11</sup>	3.07 x 10 <sup>-11</sup>	6.09 x 10 <sup>-12</sup>	7.99 x 10 <sup>-11</sup>
6.3	7.29 x 10 <sup>-12</sup>	5.01 x 10 <sup>-12</sup>	1.10 x 10 <sup>-11</sup>	2.80 x 10 <sup>-11</sup>	5.56 x 10 <sup>-12</sup>	7.29 x 10 <sup>-11</sup>
6.4	6.65 x 10 <sup>-12</sup>	4.57 x 10 <sup>-12</sup>	1.00 x 10 <sup>-11</sup>	2.56 x 10 <sup>-11</sup>	5.07 x 10 <sup>-12</sup>	6.65 x 10 <sup>-11</sup>
6.5	6.07 x 10 <sup>-12</sup>	4.17 x 10 <sup>-12</sup>	9.13 x 10 <sup>-12</sup>	2.33 x 10 <sup>-11</sup>	4.63 x 10 <sup>-12</sup>	6.07 x 10 <sup>-11</sup>
6.6	5.54 x 10 <sup>-12</sup>	3.81 x 10 <sup>-12</sup>	8.33 x 10 <sup>-12</sup>	2.13 x 10 <sup>-11</sup>	4.22 x 10 <sup>-12</sup>	5.54 x 10 <sup>-11</sup>
6.7	5.05 x 10 <sup>-12</sup>	3.47 x 10 <sup>-12</sup>	7.60 x 10 <sup>-12</sup>	1.94 x 10 <sup>-11</sup>	3.85 x 10 <sup>-12</sup>	5.05 x 10 <sup>-11</sup>
6.8	4.61 x 10 <sup>-12</sup>	3.17 x 10 <sup>-12</sup>	6.93 x 10 <sup>-12</sup>	1.77 x 10 <sup>-11</sup>	3.51 x 10 <sup>-12</sup>	4.61 x 10 <sup>-11</sup>
6.9	4.21 x 10 <sup>-12</sup>	2.89 x 10 <sup>-12</sup>	6.33 x 10 <sup>-12</sup>	1.61 x 10 <sup>-11</sup>	3.21 x 10 <sup>-12</sup>	4.21 x 10 <sup>-11</sup>
7.0	3.84 x 10 <sup>-12</sup>	2.64 x 10 <sup>-12</sup>	5.77 x 10 <sup>-12</sup>	1.47 x 10 <sup>-11</sup>	2.93 x 10 <sup>-12</sup>	3.84 x 10 <sup>-11</sup>
7.1	3.50 x 10 <sup>-12</sup>	2.41 x 10 <sup>-12</sup>	5.27 x 10 <sup>-12</sup>	1.34 x 10 <sup>-11</sup>	2.67 x 10 <sup>-12</sup>	3.50 x 10 <sup>-11</sup>
7.2	3.20 x 10 <sup>-12</sup>	2.20 x 10 <sup>-12</sup>	4.80 x 10 <sup>-12</sup>	1.23 x 10 <sup>-11</sup>	2.44 x 10 <sup>-12</sup>	3.20 x 10 <sup>-11</sup>
7.3	2.91 x 10 <sup>-12</sup>	2.00 x 10 <sup>-12</sup>	4.38 x 10 <sup>-12</sup>	1.12 x 10 <sup>-11</sup>	2.23 x 10 <sup>-12</sup>	2.91 x 10 <sup>-11</sup>
7.4	2.66 x 10 <sup>-12</sup>	1.83 x 10 <sup>-12</sup>	4.00 x 10 <sup>-12</sup>	1.02 x 10 <sup>-11</sup>	2.03 x 10 <sup>-12</sup>	2.66 x 10 <sup>-11</sup>
7.5	2.43 x 10 <sup>-12</sup>	1.67 x 10 <sup>-12</sup>	3.65 x 10 <sup>-12</sup>	9.29 x 10 <sup>-12</sup>	1.85 x 10 <sup>-12</sup>	2.43 x 10 <sup>-11</sup>
7.6	2.21 x 10 <sup>-12</sup>	1.52 x 10 <sup>-12</sup>	3.33 x 10 <sup>-12</sup>	8.48 x 10 <sup>-12</sup>	1.69 x 10 <sup>-12</sup>	2.21 x 10 <sup>-11</sup>
7.7	2.02 x 10 <sup>-12</sup>	1.39 x 10 <sup>-12</sup>	3.04 x 10 <sup>-12</sup>	7.38 x 10 <sup>-12</sup>	1.54 x 10 <sup>-12</sup>	2.02 x 10 <sup>-11</sup>
7.8	1.84 x 10 <sup>-12</sup>	1.27 x 10 <sup>-12</sup>	2.77 x 10 <sup>-12</sup>	7.06 x 10 <sup>-12</sup>	1.41 x 10 <sup>-12</sup>	1.84 x 10 <sup>-11</sup>
7.9	1.68 x 10 <sup>-12</sup>	1.16 x 10 <sup>-12</sup>	2.53 x 10 <sup>-12</sup>	6.44 x 10 <sup>-12</sup>	1.28 x 10 <sup>-12</sup>	1.68 x 10 <sup>-11</sup>

Mag.	I	R	V	B	U	Bolometric
8.0	$1.51 \times 10^{-12}$	$1.04 \times 10^{-12}$	$2.28 \times 10^{-12}$	$5.83 \times 10^{-12}$	$1.16 \times 10^{-12}$	$1.51 \times 10^{-11}$
8.1	$1.38 \times 10^{-12}$	$9.49 \times 10^{-13}$	$2.08 \times 10^{-12}$	$5.32 \times 10^{-12}$	$1.06 \times 10^{-12}$	$1.38 \times 10^{-11}$
8.2	$1.26 \times 10^{-12}$	$9.66 \times 10^{-13}$	$1.90 \times 10^{-12}$	$4.85 \times 10^{-12}$	$9.66 \times 10^{-13}$	$1.26 \times 10^{-11}$
8.3	$1.15 \times 10^{-12}$	$7.90 \times 10^{-13}$	$1.73 \times 10^{-12}$	$4.43 \times 10^{-12}$	$8.81 \times 10^{-13}$	$1.15 \times 10^{-11}$
8.4	$1.05 \times 10^{-12}$	$7.21 \times 10^{-13}$	$1.58 \times 10^{-12}$	$4.04 \times 10^{-12}$	$8.04 \times 10^{-13}$	$1.05 \times 10^{-11}$
8.5	$9.55 \times 10^{-13}$	$6.58 \times 10^{-13}$	$1.44 \times 10^{-12}$	$3.69 \times 10^{-12}$	$7.34 \times 10^{-13}$	$9.55 \times 10^{-12}$
8.6	$8.71 \times 10^{-13}$	$6.00 \times 10^{-13}$	$1.32 \times 10^{-12}$	$3.36 \times 10^{-12}$	$6.69 \times 10^{-13}$	$8.71 \times 10^{-12}$
8.7	$7.95 \times 10^{-13}$	$5.47 \times 10^{-13}$	$1.20 \times 10^{-12}$	$3.07 \times 10^{-12}$	$6.11 \times 10^{-13}$	$7.95 \times 10^{-12}$
8.8	$7.25 \times 10^{-13}$	$5.00 \times 10^{-13}$	$1.10 \times 10^{-12}$	$2.80 \times 10^{-12}$	$5.57 \times 10^{-13}$	$7.25 \times 10^{-12}$
8.9	$6.62 \times 10^{-13}$	$4.46 \times 10^{-13}$	$9.99 \times 10^{-13}$	$2.55 \times 10^{-12}$	$5.08 \times 10^{-13}$	$6.62 \times 10^{-12}$
9.0	$6.04 \times 10^{-13}$	$4.16 \times 10^{-13}$	$9.12 \times 10^{-13}$	$2.33 \times 10^{-12}$	$4.64 \times 10^{-13}$	$6.04 \times 10^{-12}$
9.1	$5.51 \times 10^{-13}$	$3.79 \times 10^{-13}$	$8.32 \times 10^{-13}$	$2.12 \times 10^{-12}$	$4.23 \times 10^{-13}$	$5.51 \times 10^{-12}$
9.2	$5.03 \times 10^{-13}$	$3.46 \times 10^{-13}$	$7.59 \times 10^{-13}$	$1.94 \times 10^{-12}$	$3.86 \times 10^{-13}$	$5.03 \times 10^{-12}$
9.3	$4.59 \times 10^{-13}$	$3.16 \times 10^{-13}$	$6.93 \times 10^{-13}$	$1.77 \times 10^{-12}$	$3.52 \times 10^{-13}$	$4.59 \times 10^{-12}$
9.4	$4.18 \times 10^{-13}$	$2.88 \times 10^{-13}$	$6.32 \times 10^{-13}$	$1.61 \times 10^{-12}$	$3.21 \times 10^{-13}$	$4.18 \times 10^{-12}$
9.5	$3.82 \times 10^{-13}$	$2.63 \times 10^{-13}$	$5.77 \times 10^{-13}$	$1.47 \times 10^{-12}$	$2.93 \times 10^{-13}$	$3.82 \times 10^{-12}$
9.6	$3.48 \times 10^{-13}$	$2.40 \times 10^{-13}$	$5.26 \times 10^{-13}$	$1.34 \times 10^{-12}$	$2.68 \times 10^{-13}$	$3.48 \times 10^{-12}$
9.7	$3.18 \times 10^{-13}$	$2.19 \times 10^{-13}$	$4.80 \times 10^{-13}$	$1.22 \times 10^{-12}$	$2.44 \times 10^{-13}$	$3.18 \times 10^{-12}$
9.8	$2.90 \times 10^{-13}$	$2.00 \times 10^{-13}$	$4.38 \times 10^{-13}$	$1.12 \times 10^{-12}$	$2.23 \times 10^{-13}$	$2.90 \times 10^{-12}$
9.9	$2.65 \times 10^{-13}$	$1.82 \times 10^{-13}$	$4.00 \times 10^{-13}$	$1.02 \times 10^{-12}$	$2.03 \times 10^{-13}$	$2.65 \times 10^{-12}$
10.0	$2.41 \times 10^{-13}$	$1.66 \times 10^{-13}$	$3.65 \times 10^{-13}$	$9.30 \times 10^{-13}$	$1.85 \times 10^{-13}$	$2.41 \times 10^{-12}$