

**UNICAMP**



**Projeto de Pesquisa**  
**F-530 – INSTRUMENTAÇÃO EM FÍSICA**  
**“MEDIDAS ABSOLUTAS DO FLUXO DE**  
**FÓTON DE UMA LÂMPADA DE**  
**HIDROGÊNIO DE ALTO DESEMPENHO”**



**Aluno: Orlando da Cunha Vasconcellos  
Neto**

**RA 092532**

**Professor orientador: Arnaldo Naves de  
Brito**

## **Resumo**

Este projeto tem como objetivo caracterizar uma lâmpada de hidrogênio que, teoricamente, deveria funcionar com uma mistura gasosa de 10% de hidrogênio com 90% de argônio. Esta mistura é relativamente difícil de encontrar se comparado com uma mistura gasosa de 95% de argônio e 5% de hidrogênio. Visando esta viabilidade econômica e prática, a caracterização da lâmpada foi feita usando um cilindro com a mistura de mais fácil acesso comercial.

## **Objetivos**

Este projeto tem como objetivos principais a caracterização da lâmpada de hidrogênio e a possível substituição, em determinados casos, da mistura padrão (10% de hidrogênio) por uma mistura de mais fácil acesso e menor custo (5% de hidrogênio).

## **A lâmpada**

Basicamente o funcionamento da lâmpada se dá por meio de um fotodiodo AXUV (10mm x 10mm). A energia fornecida pelo fóton incidente excita um elétron da banda de valência, fazendo o mesmo se deslocar para uma banda de condução. Este processo vai gerando pares de elétron/lacuna que constituem justamente os

fotoportadores. O elevado campo elétrico na região de depleção faz com que os portadores se separem e sejam recolhidos pelos terminais da junção inversamente polarizada. Este movimento de cargas provoca um fluxo de corrente no circuito exterior, conhecida como corrente fotodetectada.



**Figura 1: Fotodiodo análogo ao utilizado no experimento.**

Segundo o fabricante, a lâmpada opera em um comprimento de onda de 125,40nm. Ainda segundo o fabricante, a cada 9,89 eV de energia, aproximadamente 1,21 elétrons mudam de nível quântico. A figura 2 mostra a aparelhagem básica para o funcionamento da lâmpada. Abaixo apresentam-se também um gráfico retirado do site do fabricante do fotodiodo



**Figura 2: Montagem da mesa com a lâmpada em funcionamento**

## **Verificação dos valores fornecidos pelo fabricante**

Buscando uma melhor compreensão dos dados citados acima, resolvemos calcular novamente o valor da energia fornecida por um fóton de luz com o comprimento de onda dado pelo fabricante.

Temos que:

$$E = h \cdot f$$

Onde  $h$  é igual a  $6,6 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$  e  $f$  é a frequência.

Sabemos que:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

onde  $v$  é a velocidade da luz ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ).

Desta forma:

$$E = \frac{h \cdot \nu}{\lambda}$$

Substituído os valores:

$$E = \frac{(6,6 \cdot 10^{-34}) \cdot (3 \cdot 10^8)}{125,40 \cdot 10^{-9}}$$

$$E = 1,578947368 \cdot 10^{-18} J$$

Convertendo joules em elétron-volt (ou seja, dividir o valor encontrado pelo módulo da carga elementar do elétron, que é  $1,6 \cdot 10^{-19} C$ , encontramos:

$$E = 9,868421053 eV$$

Este valor é bastante próximo do valor dado pelo fabricante; por este motivo, continuamos a utilizar os dados fornecidos pelo mesmo no restante dos cálculos do experimento.

## **Procedimento experimental**

### **Parte 1: variando a potência a pressão constante.**

Foi usado neste experimento um cilindro com uma mistura dos gases argônio e hidrogênio (respectivamente, 95% e 5%). Este gás foi ligado a uma pressão de 5,0 psi. Tendo aberto este cilindro, abrimos também a válvula que dá o acesso do hidrogênio à lâmpada e estabilizamos a pressão a exatos 0,6torr. Feito isto, ligamos o potenciômetro em alta voltagem, inicialmente com 30V, e regulamos, através das válvulas que ficam sobre a lâmpada, a potência dissipada, de forma a minimizar a mesma (haja vista que o excesso de potência dissipada pode danificar o aparelho).

Antes de ligar o potenciômetro, verificamos que o amperímetro verificou uma corrente de aproximadamente 0,37nA. Este dado nos mostra que a lâmpada apresenta “ruídos”.

Tomadas às devidas precauções, coletamos os dados e calculamos o fluxo de fótons, presente na tabela. Mais adiante neste relatório é explicado como foi feito o cálculo do fluxo. Os dados referentes à corrente elétrica foram coletados com um amperímetro de alta sensibilidade ilustrado abaixo da tabela.

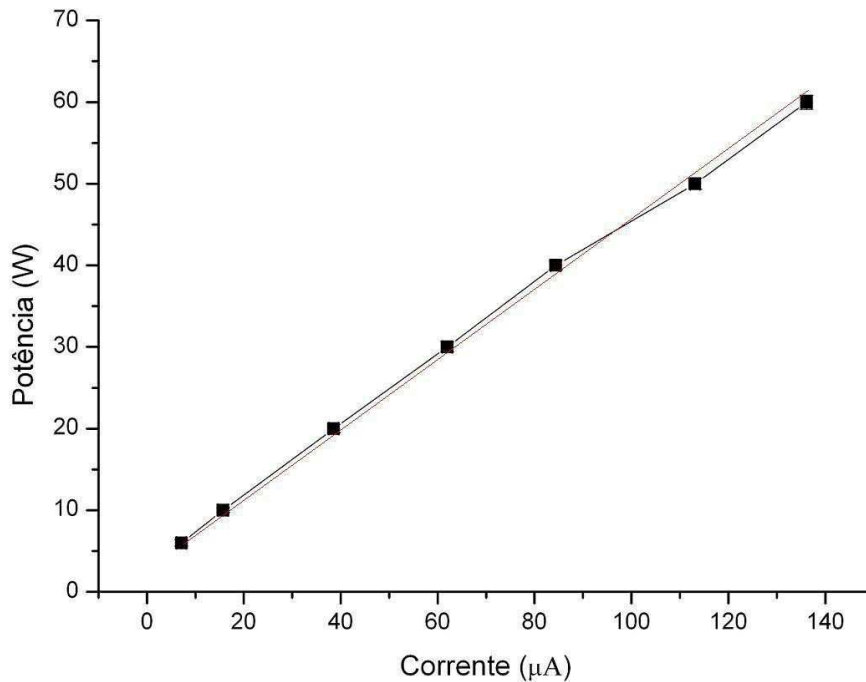
Potência (W)	Erro (W)	Corrente ( $\mu\text{A}$ )	Erro ( $\mu\text{A}$ )	Fluxo ( $10^{12}$ fótons/s)	Erro ( $10^{12}$ fótons/s)	Energia ( $10^{14}$ eV)	Erro $10^{14}$ eV
60	0,5	136,12	0,01	703,099	0,052	83,444	0,006
50	0,5	113,12	0,01	589,166	0,052	69,922	0,006
40	0,5	84,38	0,01	435,847	0,052	51,726	0,006
30	0,5	61,93	0,01	319,886	0,052	37,964	0,006
20	0,5	38,26	0,01	197,690	0,052	23,462	0,006
10	0,5	15,71	0,01	81,150	0,052	9,631	0,006

**Tabela 1: dados coletados variando-se somente a potência.**



**Figura 3: amperímetro de alta sensibilidade.**

Com os dados da tabela acima, montamos um gráfico. Neste gráfico, entenda a corrente elétrica em função da potência aplicada (haja vista que o gráfico foi montado com os eixos trocados).



**Gráfico 1: potência v.s. corrente elétrica**

## Parte 2: variando- se a pressão (potência constante)

Foi tomado para esta parte do experimento o mesmo procedimento da fase anterior, porém, variamos somente a pressão e deixamos a potência sempre em 5,0W. Coletamos os dados descritos na tabela 2.

Pressão (torr)	Corrente (μA)	Erro (μA)	Fluxo (10 <sup>13</sup> fótons/s)	Erro (10 <sup>13</sup> fótons/s)	Energia (10 <sup>14</sup> eV)	Erro (10 <sup>14</sup> eV)
0,61	117,65	0,01	61,276	0,052	72,7224	0,0062
0,63	126,35	0,01	65,807	0,052	78,0997	0,0062
0,67	128,34	0,01	66,843	0,052	79,3293	0,0062



0,70	126,22	0,01	65,740	0,052	78,0202	0,0062
0,73	125,90	0,01	65,740	0,052	77,8220	0,0062
0,79	127,34	0,01	66,323	0,052	78,7121	0,0062
0,80	124,09	0,01	64,630	0,052	76,7029	0,0062
0,81	121,99	0,01	63,536	0,052	75,4045	0,0062
0,84	121,10	0,01	63,073	0,052	74,8655	0,0062

Tabela 2: dados coletados variando-se somente a pressão



Figura 4: Mesa onde os experimentos foram realizados



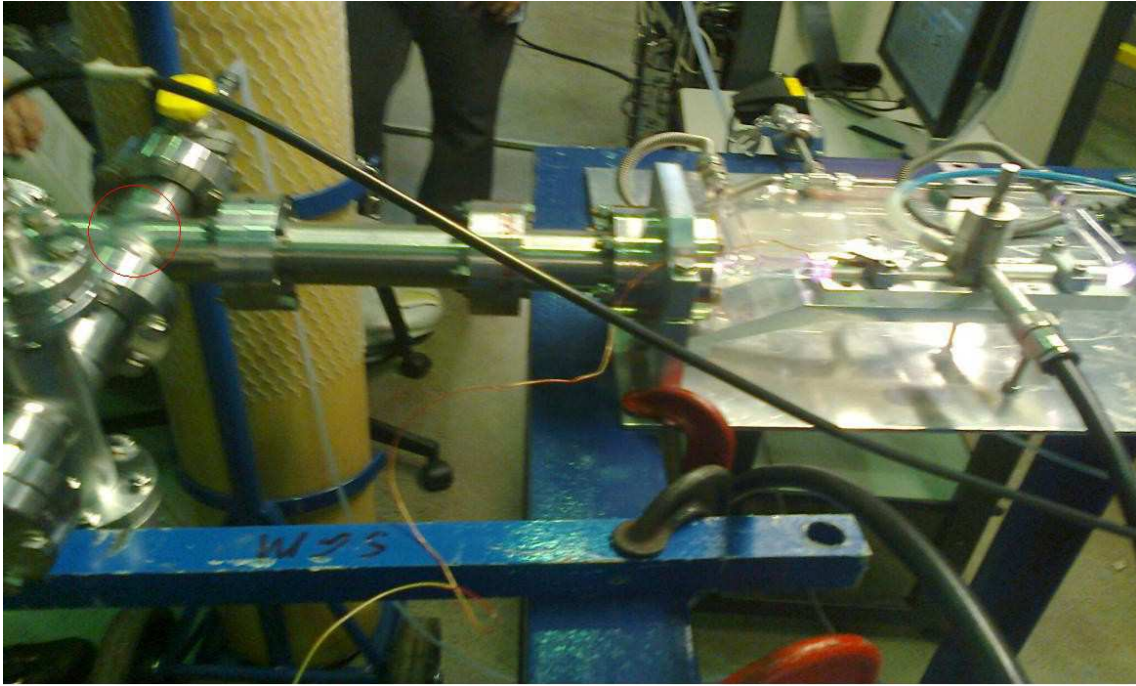


Figura 5: À esquerda, a região onde se localiza o fotodiodo.



Figura 6: aparelho medidor de pressão marcando uma das medidas da tabela 2.

## Determinação do fluxo de fótons

O cálculo para a determinação do fluxo de fótons, com base nas informações dadas acima, não foi nada muito complexo. Sabemos que cada fóton excita em média cerca de 1,21 elétron (este número é ilustrativo, haja vista que o elétron não é “quebrado” para ser excitado) e que a energia resultante desta excitação é de 9,89 eV; desta forma, com os valores de corrente lidos, podemos encontrar a quantidade de elétrons excitados por segundo e, tendo em mãos este valor, com uma simples regra de três, encontramos o fluxo de fótons em nosso aparelho. Veja o cálculo abaixo:

$$I = \frac{Q}{t}$$

Onde “I” refere-se a intensidade da corrente elétrica, “Q” refere-se a carga (em coulomb) e “t”, ao tempo (em segundos).

$$Q = n \cdot e$$

Onde “e” refere-se à carga elementar do elétron e, “n”, ao número de elétrons; sendo assim:

$$I = \frac{n \cdot e}{t}$$

Dividindo-se a corrente pela carga elementar do elétron, temos um fluxo de elétrons.

Para saber o número de fótons...

$$1,2n_f = n_e$$

Onde  $n_f$  e  $n_e$  referem-se, respectivamente, ao número de fótons e ao número de elétrons.

Manipulando-se esta equação, encontramos o número de fótons.

### Parte 3: Variando- se a distância do fotodiodo até a lâmpada

Para este experimento foi preciso trocar uma parte da montagem da figura 4, de modo que a distância do fotodiodo até a lâmpada pudesse ser variada sem a necessidade de desconectar o fotodiodo da montagem (haja vista que este procedimento pode mudar a posição do fotodiodo e, com isto, os dados experimentais não seriam confiáveis). Para esta parte do experimento, foi usado um amperímetro com maior resolução (o que usamos nas outras partes do experimento estava sendo usado para outras medições). Todas as medições fora feitas utilizando uma potência de 50W.

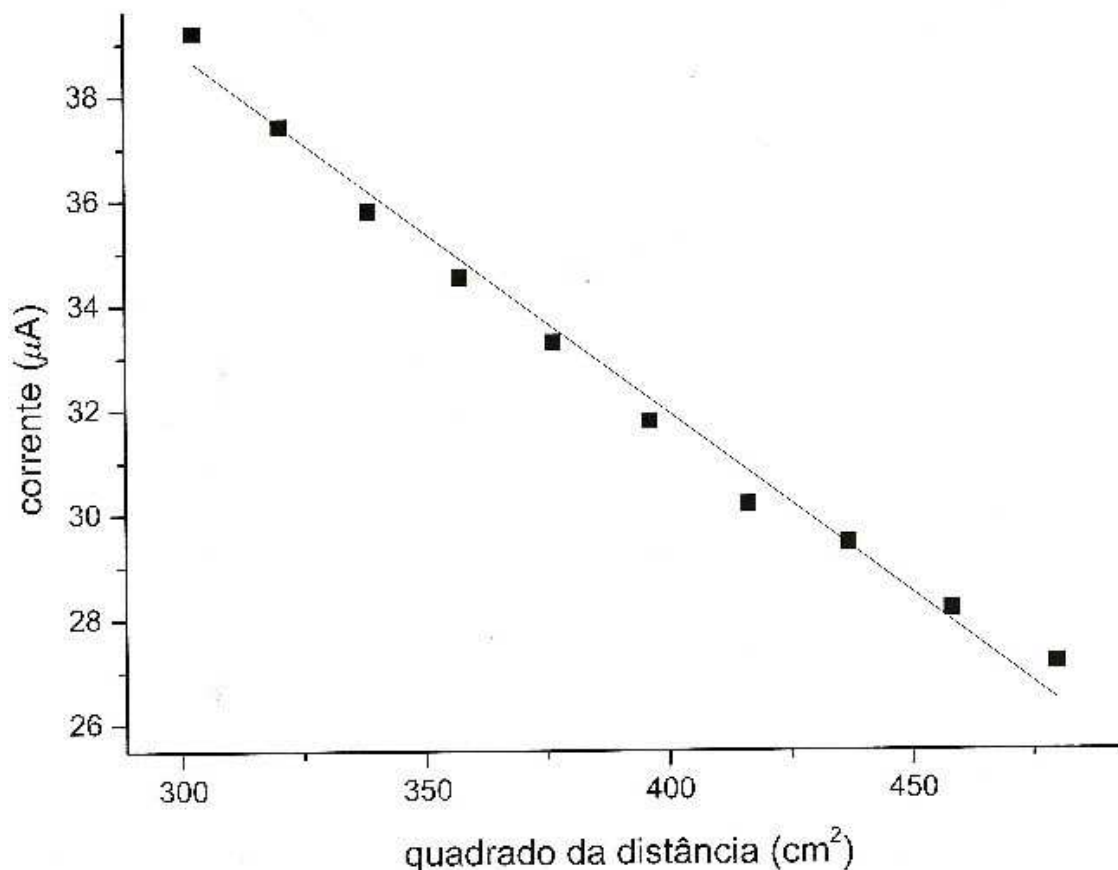
Os dados obtidos estão descritos nas tabelas abaixo:

Distância fotodiodo – lâmpada  (mm)	Erro (mm)	Corrente ( $\mu\text{A}$ )	Erro ( $\mu\text{A}$ )	Fluxo ( $10^{13}$ fótons/s)	Erro ( $10^{13}$ fótons/s)	Energia ( $10^{14}$ eV)	Erro ( $10^{14}$ eV)
222	0,5	37,012	0,01	19,277	0,052	22,8779	0,0062
224	0,5	36,218	0,01	18,864	0,052	22,3878	0,0062
227	0,5	35,776	0,01	18,633	0,052	22,1136	0,0062
229	0,5	35,601	0,01	18,542	0,052	22,0056	0,0062
230	0,5	34,482	0,01	17,959	0,052	21,3138	0,0062
232	0,5	32,579	0,01	16,968	0,052	20,1376	0,0062
235	0,5	31,860	0,01	16,594	0,052	19,6938	0,0062
240	0,5	30,382	0,01	15,830	0,052	18,7870	0,0062
245	0,5	29,276	0,01	15,248	0,052	18,0963	0,0062

**Tabela 3: A pressão usada foi de 0,56torr.**

Distância fotodiodo – lâmpada (mm)	Erro (mm)	Corrente ( $\mu\text{A}$ )	Erro ( $\mu\text{A}$ )	Fluxo ( $10^{13}$ fótons/s)	Erro ( $10^{13}$ fótons/s)	Energia ( $10^{14}$ eV)	Erro ( $10^{14}$ eV)
224	0,5	39,200	0,01	20,417	0,052	24,2305	0,0062
229	0,5	37,419	0,01	19,489	0,052	23,1296	0,0062
234	0,5	35,801	0,01	18,646	0,052	22,1295	0,0062
239	0,5	34,528	0,01	17,983	0,052	21,3426	0,0062
244	0,5	33,291	0,01	17,339	0,052	20,5780	0,0062
249	0,5	31,776	0,01	16,550	0,052	19,6415	0,0062
254	0,5	30,183	0,01	15,720	0,052	18,6569	0,0062
259	0,5	29,447	0,01	15,337	0,052	18,2019	0,0062
264	0,5	28,177	0,01	14,676	0,052	17,4169	0,0062
269	0,5	27,163	0,01	14,147	0,052	16,7902	0,0062

**Tabela 4: A pressão usada foi de 0,58torr**



**Gráfico 2: Corrente em função do quadrado da distância do fotodiodo até a lâmpada (dados da tabela 4)**

## Conclusões

Vimos que o aparelho funciona razoavelmente bem com o cilindro em questão, porém, não tem 100% de eficiência (haja vista que a lâmpada não acende por completo). Na primeira parte do experimento ocorreu tudo como o esperado, porém, na segunda parte, enquanto aumentávamos a pressão, a corrente também aumentava, porém, em um determinado ponto a corrente não aumentou (como era o esperado), mas diminuiu. Tal efeito poderia ser explicado pelo aumento re-absorção da luz UV emitida por outros átomos. De fato, o aumento da intensidade é linearmente proporcional a densidade (em primeira aproximação). Por outro lado a absorção varia com a exponencial desta densidade (Lei de Beer Lambert).

Quando ligamos o amperímetro, mesmo antes de colocar a lâmpada em funcionamento, o amperímetro marcava uma corrente de 0,37nA. Este valor representa uma componente do erro sistemático sem maiores consequências já que está abaixo da margem de erros. Com relação ao fluxo de fótons, para uma pressão de 0,58 Torr,

distância da Janela que separa a lâmpada do vácuo até a superfície do fotodiodo de de 224 mm obtivemos um fluxo de fótons de  $(2,041 \pm 0,052) 10^{14}$  f/s.

## **Bibliografia**

Fundamentos da Física, Halliday e Resnick, volume 4, 8ª edição;

<http://www.ird-inc.com/>

<http://www.ird-inc.com/text/axuvopeprin.txt>



## Comentário do Orientador

Orientador do projeto: Medidas absolutas do fluxo de Ftons de uma lampada de hidrogênio de alto desempenho.

Aluno: Orlando da Cunha Vasconcellos Neto, RA 092532

Parecer:

Nova versão de 14 de março de 2012.

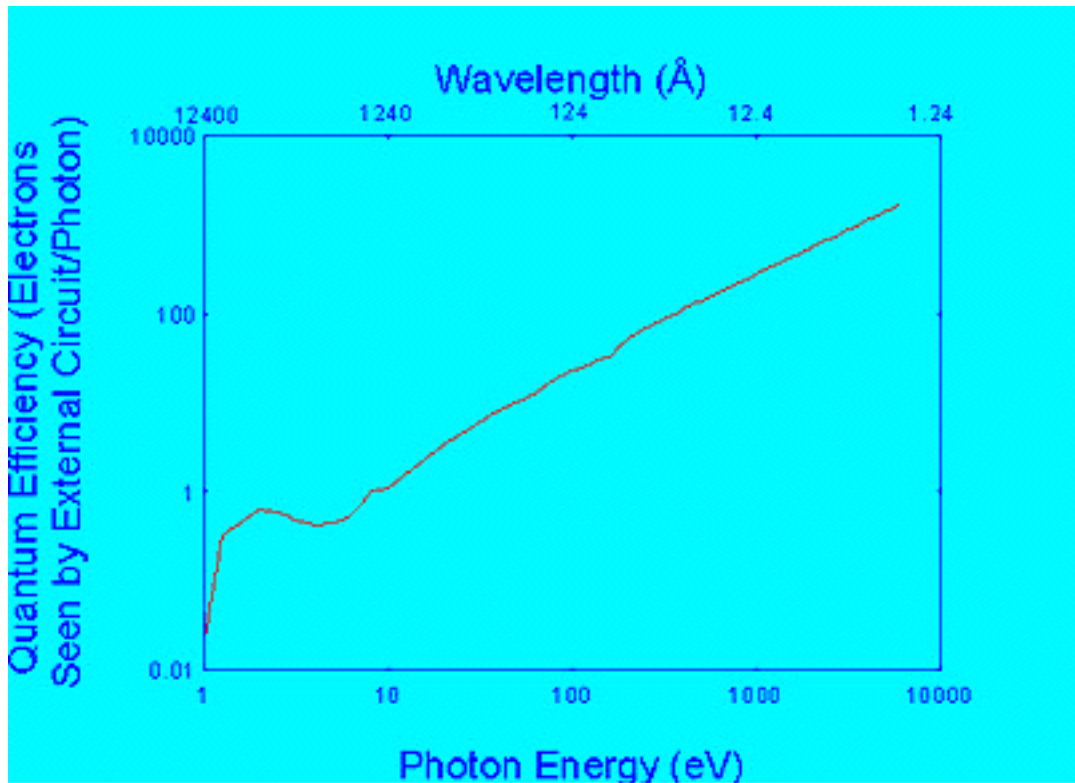
Em geral o relatório está bem escrito. O estudante apresentou bom desempenho e independência em levar a frente os diversos experimentos necessários para realizar as medidas com sucesso. As medidas realizadas serão importantes para várias pesquisas a serem realizadas com a lâmpada de hidrogênio incluindo: simulação de ambientes pré-bióticos assim como teste da hipótese de panspermia planetária Desta forma com as correções, julgo que o resultado foi excelente levando-se em conta as dificuldades impostas com o experimento proposto.

Nota: 8,5 (Oito e meio)



Arnaldo Naves de Brito.

Anexo – dados do fabricante



Dataset for Typical Quantum Efficiency of AXUV Photodiodes

Energy(eV)	Wavelength (nm)	QE	Resp(A /W)
1240.00	1.00	335.14	0.270
1042.02	1.19	281.63	0.270
898.55	1.38	242.85	0.270
789.81	1.57	213.46	0.270
704.55	1.76	190.42	0.270
635.90	1.95	171.86	0.266
579.44	2.14	156.61	0.266
532.19	2.33	143.83	0.265
492.06	2.52	132.99	0.265
457.56	2.71	123.67	0.264

427.59	2.90	115.56	0.263
401.29	3.09	108.46	0.263
378.05	3.28	102.18	0.263
357.35	3.47	96.58	0.262
338.80	3.66	91.57	0.260
322.08	3.85	87.05	0.260
306.93	4.04	82.95	0.258
293.14	4.23	79.23	0.256
280.54	4.42	75.82	0.255
268.98	4.61	72.70	0.255
258.33	4.80	69.82	0.254
248.00	5.00	63.71	0.253
233.96	5.30	59.12	0.253
213.79	5.80	51.33	0.240
196.83	6.30	44.82	0.228
182.35	6.80	38.93	0.214
169.86	7.30	33.31	0.196
158.97	7.80	32.32	0.203
149.40	8.30	32.34	0.216
137.78	9.00	31.54	0.229
130.53	9.50	29.70	0.228
124.00	10.00	29.19	0.235
116.98	10.60	27.53	0.235
106.90	11.60	25.73	0.241
98.41	12.60	25.65	0.261
91.18	13.60	23.53	0.258
84.93	14.60	21.04	0.248
79.49	15.60	19.18	0.241
74.70	16.60	17.82	0.239
70.86	17.50	17.00	0.240
67.03	18.50	15.87	0.237
63.59	19.50	14.76	0.232
60.49	20.50	13.84	0.229

57.67	21.50	13.08	0.227
55.11	22.50	12.39	0.225
52.77	23.50	11.85	0.225
50.61	24.50	11.25	0.222
48.63	25.50	12.04	0.248
45.93	27.00	10.36	0.226
42.76	29.00	9.21	0.215
40.00	31.00	9.67	0.242
37.58	33.00	9.30	0.247
35.43	35.00	7.54	0.213
33.51	37.00	7.11	0.212
31.79	39.00	6.64	0.209
30.24	41.00	6.13	0.203
28.84	43.00	5.69	0.197
27.56	45.00	5.30	0.192
26.38	47.00	4.94	0.187
25.31	49.00	4.57	0.181
23.89	51.90	4.02	0.168
23.09	53.70	3.73	0.162
22.30	55.60	3.57	0.160
21.23	58.40	3.19	0.150
20.70	59.90	3.05	0.147
19.94	62.20	2.77	0.139
19.41	63.90	2.61	0.134
18.87	65.70	2.46	0.130
18.54	66.90	2.33	0.126
18.16	68.30	2.21	0.122
17.74	69.90	2.15	0.121
17.42	71.20	2.01	0.115
16.87	73.50	1.81	0.108
16.49	75.20	1.68	0.102
16.08	77.10	1.59	0.0990
15.50	80.00	1.49	0.0958

15.16	81.80	1.41	0.0927
14.69	84.40	1.33	0.0904
14.34	86.50	1.28	0.0896
14.00	88.60	1.23	0.0880
13.48	92.00	1.18	0.0875
10.65	116.40	1.20	0.112
10.51	118.00	1.18	0.112
10.20	121.60	1.19	0.117
9.89	125.40	1.21	0.122
9.16	135.40	1.22	0.134
8.84	140.30	1.22	0.139
8.61	144.10	1.24	0.144
8.34	148.70	1.21	0.145
8.03	154.50	1.20	0.150
7.71	160.80	1.12	0.145
7.52	164.80	1.03	0.137
7.29	170.00	0.906	0.124
7.09	175.00	0.830	0.117
6.80	182.30	0.745	0.110
6.60	187.90	0.691	0.105
6.40	193.70	0.655	0.102
6.20	200.00	0.610	0.0984
6.00	206.70	0.575	0.0958
5.80	213.80	0.541	0.0932
5.60	221.40	0.506	0.0903
5.40	229.60	0.498	0.0922
5.20	238.50	0.496	0.0955
5.17	240.00	0.497	0.0962
5.06	245.00	0.467	0.0922
4.96	250.00	0.433	0.0872
4.86	255.00	0.400	0.0823
4.77	260.00	0.370	0.0776
4.68	265.00	0.343	0.0733

4.59	270.00	0.321	0.0699
4.51	275.00	0.314	0.0696
4.43	280.00	0.321	0.0724
4.35	285.00	0.337	0.0774
4.28	290.00	0.359	0.0840
4.20	295.00	0.390	0.0927
4.13	300.00	0.415	0.1004
4.07	305.00	0.433	0.1064
4.00	310.00	0.443	0.1107
3.94	315.00	0.451	0.1146
3.88	320.00	0.456	0.1177
3.82	325.00	0.459	0.1202
3.76	330.00	0.461	0.1226
3.70	335.00	0.460	0.1243
3.65	340.00	0.460	0.1260
3.59	345.00	0.458	0.1274
3.54	350.00	0.456	0.1286
3.49	355.00	0.445	0.1274
3.44	360.00	0.436	0.1266
3.40	365.00	.430	0.1266
3.35	370.00	0.432	0.1290
3.31	375.00	0.445	0.1347
3.26	380.00	0.462	0.1417
3.22	385.00	0.481	0.1493
3.18	390.00	0.496	0.1561
3.14	395.00	0.510	0.1625
3.10	400.00	0.522	0.1683
3.02	410.00	0.542	0.1792
2.95	420.00	0.557	0.1887
2.88	430.00	0.571	0.1980
2.82	440.00	0.582	0.2067
2.76	450.00	0.592	0.2148
2.70	460.00	0.600	0.2227



2.64	470.00	0.608	0.2303
2.58	480.00	0.614	0.2376
2.53	490.00	0.619	0.2447
2.48	500.00	0.625	0.2519
2.43	510.00	0.629	0.2588
2.38	520.00	0.634	0.2657
2.34	530.00	0.642	0.2744
2.30	540.00	0.646	0.2813
2.25	550.00	0.649	0.2878
2.21	560.00	0.652	0.2945
2.18	570.00	0.655	0.3009
2.14	580.00	0.657	0.3075
2.10	590.00	0.659	0.3138
2.07	600.00	0.662	0.3202
2.03	610.00	0.663	0.3263
2.00	620.00	0.665	0.3325
1.97	630.00	0.667	0.3388
1.94	640.00	0.668	0.3449
1.91	650.00	0.669	0.3509
1.88	660.00	0.671	0.3569
1.85	670.00	0.667	0.3606
1.82	680.00	0.669	0.3668
1.80	690.00	0.670	0.3727
1.77	700.00	0.671	0.3788
1.75	710.00	0.672	0.3849
1.72	720.00	0.673	0.3905
1.70	730.00	0.674	0.3966
1.68	740.00	0.675	0.4027
1.65	750.00	0.675	0.4082
1.63	760.00	0.676	0.4140
1.61	770.00	0.676	0.4196
1.59	780.00	0.675	0.4248
1.57	790.00	0.674	0.4294

1.55	800.00	0.673	0.4339
1.53	810.00	0.670	0.4373
1.51	820.00	0.665	0.4394
1.49	830.00	0.659	0.4409
1.48	840.00	0.650	0.4404
1.46	850.00	0.639	0.4381
1.44	860.00	0.626	0.4343
1.43	870.00	0.611	0.4286
1.41	880.00	0.592	0.4203
1.39	890.00	0.571	0.4097
1.38	900.00	0.547	0.3967
1.36	910.00	0.519	0.3809
1.35	920.00	0.489	0.3631
1.33	930.00	0.456	0.3421
1.32	940.00	0.421	0.3193
1.31	950.00	0.385	0.2946
1.29	960.00	0.348	0.2692
1.28	970.00	0.310	0.2423
1.27	980.00	0.273	0.2156
1.25	990.00	0.236	0.1885
1.24	1000.00	0.201	0.1617
1.23	1010.00	0.167	0.1358
1.22	1020.00	0.135	0.1112
1.20	1030.00	0.106	0.0884
1.19	1040.00	0.081	0.0679
1.18	1050.00	0.060	0.0507
1.17	1060.00	0.043	0.0368
1.16	1070.00	0.032	0.0274
1.15	1080.00	0.024	0.0212
1.14	1090.00	0.019	0.0164
1.13	1100.00		