

Relatório 2: Radiação Térmica

Anna Beatriz R. Jaria

nº USP: 10732180

Resumo:

Neste experimento nosso objetivo foi estudar e analisar os processos de absorção e emissão de radiação de corpos e conferir a validade da lei de Stefan-Boltzmann e da teoria de Planck para radiação de corpo negro. Tivemos resultados satisfatórios para quase todo o experimento.

Introdução:

A radiação térmica é um fenômeno físico onde podemos observar a emissão de radiação eletromagnética a partir de corpos aquecidos. O fenômeno foi alvo de pesquisas no início do século XX, por influência a indústria metalúrgica da época.

Para baixas temperaturas, R. Layleigh propôs que a radiação térmica originava de movimentação de cargas, que constituíam a matéria, de modo oscilante. O problema era que para altas frequências, a densidade de energia tomava valores infinitamente altos, o que foi denominado de catástrofe do ultravioleta. Para altas temperaturas, temos a lei de Deslocamento de Wien:

$$(1) \lambda_{\text{máx.}} T = C \quad ; \quad C = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ mK.}$$

Planck rompeu com o conceito de continuidade de energia. Sua hipótese assumia que osciladores harmônicos corretores produzem a emissão de radiação eletromagnética, em alguns modos, encontrando a seguinte equação para a densidade de energia:

$$\rho(\nu, T) d\nu = \left(\frac{8\pi\nu^2}{c^3} \right) \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} d\nu \quad (2)$$

Onde ν é a frequência da radiação, c a velocidade da luz, h a constante de Boltzmann com valor de $6,62 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$ e T a

temperatura do corpo em Kelvin. Essa equação reproduz os resultados encontrados por Rayleigh e Wien para baixas e altas temperaturas. O fluxo total de energia emitida por um corpo por unidade de área e tempo é obtido integrando a equação 2:

$$R_{rad} = \sigma T^4 \quad (3)$$

Na qual σ é a constante de Stefan-Boltzmann e vale $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Esta equação é chamada de Lei de Stefan-Boltzmann e apesar de Planck mostrar que ela não depende das frequências do material, na prática a superfície do material influencia na emissão e absorção de radiação.

Metodologia:

O experimento foi dividido em 7 partes e foi utilizado um sensor de radiação do tipo Termopilha TD-8553, acoplado a um voltímetro, um cubo de radiação térmica TD-8554A com um potenciômetro Variac, um termopar digital, um ventilador de resfriamento, uma lâmpada de Stefan-Boltzmann TD-8555, uma fonte de alimentação ligada a um voltímetro e amperímetro e um trilha com escala milimétrica.

A irradiação emitida por um corpo foi coletada pelo voltímetro em tensão V , portanto foi necessário converter os valores para W/m^2 usando a seguinte relação:

$$R_{rad} = \frac{V}{D \cdot A} \quad (4)$$

Onde V é a tensão em volts, D uma constante de conversão com valor de $(18,9 \pm 3,8) \text{ V/W}$ e A é a área do sensor de radiação.

1) Medindo a Radiação

Primeiramente posicionamos o sensor próximo à lâmpada em uma distância fixa para determinarmos a irradiação da mesma, com vários valores de tensão, usando a equação 4.

2) Lei de Stefan-Boltzmann

Como a lâmpada de Stefan-Boltzmann se aproxima de uma fonte pontual, podemos obter a temperatura do filamento através da resistência do mesmo. Para pequenas variações de temperatura temos a equação:

$$T = \left(\frac{R - R_{ref}}{\alpha \cdot R_{ref}} \right) - T_{ref} \quad (5)$$

Inde R é a resistência do filamento na temperatura T , $R_{ref} = 0,2 \Omega$, $T_{ref} = 300K$ e α é uma constante de valor igual a $0,0045$. Para grandes variações, usamos a tabela abaixo:

R/R_{300K}	$T(K)$	R/R_{300K}	$T(K)$	R/R_{300K}	$T(K)$	R/R_{300K}	$T(K)$
1.0	300	5.48	1200	10.63	2100	16.29	3000
1.43	400	6.03	1300	11.24	2200	16.95	3100
1.87	500	6.58	1400	11.84	2300	17.62	3200
2.34	600	7.14	1500	12.46	2400	18.28	3300
2.85	700	7.71	1600	13.08	2500	18.97	3400
3.36	800	8.28	1700	13.72	2600	19.66	3500
3.88	900	8.86	1800	14.34	2700	26.35	3600
4.41	1000	9.44	1900	14.99	2800		
4.95	1100	10.03	2000	15.63	2900		

Tabela 1: dependência da resistência com a temperatura do filamento de tungstênio.

Tendo as temperaturas e os irradianços do item 1, podemos ver a dependência de um com o outro e mostrar se ele segue a lei de Stefan-Boltzmann.

3) Lei do Inverso do Quadrado da distância (LIQD)

Fixamos a tensão sobre a lâmpada e variamos a distância entre ela e o sensor, e com isso verificamos os valores de irradiação em função da distância buscando comprovar a dependência com o inverso do quadrado.

4) Avaliação qualitativa da radiação térmica

Nesta parte utilizamos o cubo com 4 faces de alumínio com diferentes materiais os envolvendo (escura, branca, lisa e preta). Dentro dele havia uma lâmpada para aquecê-lo com diferentes porcentagens de potência

da lâmpada para medirmos a irradiação de cada face e vermos a dependência em função da temperatura.

5) Irradiância de uma fonte não pontual

Agora, deixamos o cubo aquecido na potência máxima e calculamos a irradiação para diversos valores de distância para vermos se o decaimento ainda é o inverso do quadrado.

6) Lei de Stefan-Boltzmann para baixas temperaturas

Em seguida resfriamos o cubo com auxílio do ventilador, e com o sensor encostado a uma das faces do cubo, coletamos a irradiação em função da temperatura.

7) Radiação do corpo humano

Por fim determinamos a irradiação emitida pelo nosso corpo encostando o sensor em nossas peles, levando em conta que a área da pele é próxima de $1,2\text{m}^2$ e a potência, 90W .

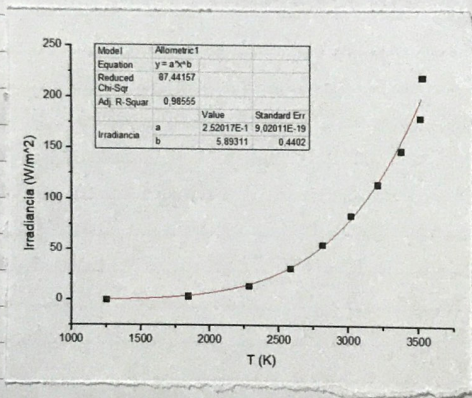
Resultados e Discussões:

1) Usando a equação 4, obtivemos os seguintes valores de irradiação:

Ponto	Tensão Sensor (V)	Irradiância (W/m^2)
1	0,0000	0,0
2	0,0003	4,0
3	0,0011	14,6
4	0,0024	31,7
5	0,0042	55,6
6	0,0064	84,7
7	0,0087	115,1
8	0,0112	148,1
9	0,0136	179,9
10	0,0166	219,6

2) Pela tabela 1, achamos os valores de $T(K)$ e fizemos o gráfico de irradiação por temperatura:

Ponto	Tensão Lâmpada (V)	Corrente Lâmpada (A)	R (ohms)	R/R300K	T (K)
1	1,0	0,87	1,149	5,747	1249
2	2,0	1,1	1,818	9,091	1840
3	3,0	1,28	2,344	11,719	2280
4	4,0	1,47	2,721	13,605	2580
5	5,0	1,66	3,012	15,060	2811
6	6,0	1,83	3,279	16,393	3015
7	7,0	1,98	3,535	17,677	3208
8	8,0	2,13	3,756	18,779	3372
9	9,0	2,24	4,018	20,089	3506
10	10,0	2,38	4,202	21,008	3520



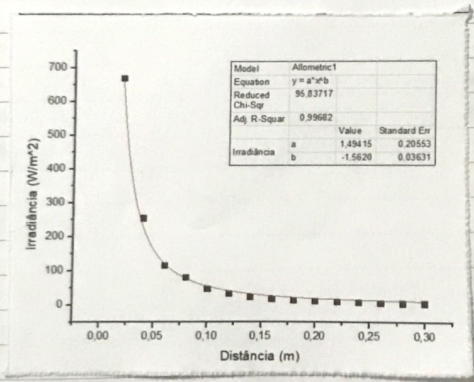
↳ Fazendo o ajuste com a seguinte equação: $y = ax^b$, podemos compará-lo com a equação 3, onde $b_{teórico} = 4$. Pelo gráfico vemos que:

- $b_{gráfico} = 5,89 \pm 0,44$

- erro = 26,60%

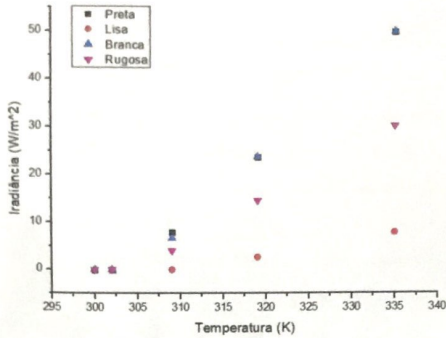
3) Com a tensão na lâmpada fixada em 10V, obtivemos os seguintes valores de irradiação e o seguinte gráfico de irradiação x distância:

Ponto	Distância (m)	Tensão (V)	Irradiância (W/m ²)
1	0,02	0,0505	667,989
2	0,04	0,0192	253,968
3	0,06	0,0087	115,079
4	0,08	0,0061	80,688
5	0,1	0,0036	47,619
6	0,12	0,0025	33,069
7	0,14	0,0018	23,810
8	0,16	0,0014	18,519
9	0,18	0,0011	14,550
10	0,2	0,0009	11,905
11	0,22	0,0007	9,259
12	0,24	0,0006	7,937
13	0,26	0,0005	6,614
14	0,28	0,0004	5,291
15	0,3	0,0004	5,291



↳ Pelo gráfico, temos que, no ajuste $y = ax^b$, nosso expoente $b = -2$ e nosso $\ln(a) = -1,56 \pm 0,04$. Portanto, temos um erro de 22%.

Ajuste do variac	Temp.(K)	Tensão Para as Seguintes Superfícies (V)				Irradiância (W/m ²)			
		Preta	Lisa	Branca	Rugosa	Preta	Lisa	Branca	Rugosa
10%	300	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
30%	302	0	0	0	0	0,000	0,000	0,000	0,000
50%	309	0,0006	0	0,0005	0,0003	7,937	0,000	6,614	3,968
70%	319	0,0018	0,0002	0,0018	0,0011	23,810	2,646	23,810	14,550
100%	335	0,0038	0,0006	0,0038	0,0023	50,265	7,937	50,265	30,423



↳ Pelo gráfico, podemos ver que nosso resultado está de acordo com o esperado, que é:

Melhores emissores de radiação:

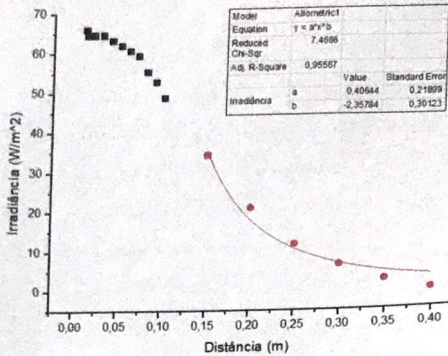
→ Preta = Branco > Rugosa > Lisa.

Essa ordem resulta pelo coeficiente de emissividade de cada face.

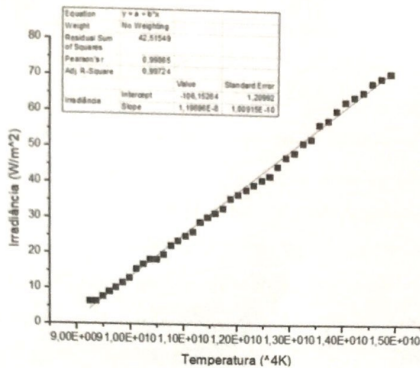
5)

Distância (m)	Tensão no sensor (V)	Irradiância (W/m ²)
0,010	0,0050	66,138
0,011	0,0050	66,138
0,012	0,0049	64,815
0,013	0,0049	64,815
0,014	0,0049	64,815
0,015	0,0049	64,815
0,016	0,0049	64,815
0,017	0,0049	64,815
0,018	0,0049	64,815
0,019	0,0049	64,815
0,020	0,0049	64,815
0,030	0,0049	64,815
0,040	0,0048	63,492
0,050	0,0047	62,169
0,060	0,0046	60,847
0,070	0,0045	59,524
0,080	0,0042	55,556
0,090	0,0040	52,910
0,100	0,0037	48,942
0,150	0,0026	34,392
0,200	0,0016	21,164
0,250	0,0009	11,905
0,300	0,0005	6,614
0,350	0,0002	2,646
0,400	0,0000	0,000

spiral



T(K)	Vsensor (V)	Irradiância (W/m ²)
349	0,0054	71,4
348	0,0053	70,1
347	0,0052	68,8
346	0,0050	66,1
345	0,0049	64,8
344	0,0048	63,5
343	0,0046	60,8
342	0,0044	58,2
341	0,0043	56,9
340	0,0040	52,9
339	0,0039	51,6
338	0,0037	48,9
337	0,0036	47,6
336	0,0034	45,0
335	0,0032	42,3
334	0,0031	41,0
333	0,0030	39,7
332	0,0029	38,4
331	0,0028	37,0
330	0,0027	35,7
329	0,0025	33,1
328	0,0024	31,7
327	0,0023	30,4
326	0,0022	29,1
325	0,0020	26,5
324	0,0019	25,1
323	0,0018	23,8
322	0,0017	22,5
321	0,0015	19,8
320	0,0014	18,5
319	0,0014	18,5
318	0,0013	17,2
317	0,0012	15,9
316	0,0010	13,2
315	0,0009	11,9
314	0,0008	10,6
313	0,0007	9,3
312	0,0006	7,9
311	0,0005	6,6
310	0,0005	6,6



↳ Pelo gráfico acima, fizemos o ajuste $y = ax^b$, que se aproxima da lei de Stefan-Boltzmann (equação 3), onde o coeficiente angular é referente a constante σ ,

$$- \text{Teórico} = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2 \text{K}^4$$

$$- \text{Gráfico} = (1,20 \cdot 10^{-8} \pm 1,01 \cdot 10^{-10}) \text{ W/m}^2 \text{K}^4$$

$$- \text{erro} = 78,83\%$$

7)

Pessoa	Medições do sensor em V			Irradiância				
	A	B	C	A	B	C	Média	Desvio
Antebraço	0,0004	0,0003	0,0002	5,2910	3,9683	2,6455	3,9683	1,3228
Pescoço	0,0005	0,0004	0,0004	6,6138	5,2910	5,2910	5,7319	0,7637
Palma da mão	0,0004	0,0004	0,0001	5,2910	5,2910	1,3228	3,9683	2,2911

Como a potência emitida pelo corpo é em torno de 90W e a área total do corpo é de $1,2\text{m}^2$, nessa irradiação esperada é de 75W/m^2 . Na tabela podemos ver que não consideramos o corpo todo, apenas partes dele, por isso a divergência dos valores experimentais com o teórico.

Conclusões:

Podemos concluir que, de acordo com nossos resultados, a lei de Stefan-Boltzmann é válida para se estimar a irradiação de corpos

spirat

que emitem radiações térmica, já que ao fazermos uma estimativa do expoente de temperatura desta lei, obtemos $(5,89 \pm 0,44)$, divergindo 26,60%. Em seguida, vimos que a irradiância de um corpo negro realmente cai com o inverso do quadrado da distância, onde achamos o valor do expoente pelo gráfico, o qual vale $(-1,56 \pm 0,09)$, discrepando 22%.

Após isso, analisamos a irradiância nos diferentes faces do cubo e percebemos que as faces preta e branca irradiam mais, pois a preta absorve quase todos os raios, evitando a reflexão e a branca reflete quase tudo, onde, no equilíbrio, os dois tem valores próximos. Já em relação as outras duas faces, a face rugosa apresenta uma maior irradiância em relação à lisa, devido a sua superfície irregular refrator mais facilmente os raios.

Posteriormente, vimos que, para uma fonte não pontual, não conseguimos ajustar a curva com uma exponencial quadrática, como no item 3, a última parte da curva que segue o esperado, não para distâncias maiores que 15cm, onde achamos nesse expoente igual a $(-2,36 \pm 0,30)$, divergindo menos de 3% do esperado (-2).

Em relação a lei de Stefan-Boltzmann para baixas temperaturas, obtemos um resultado totalmente fora do esperado, o que nos indica que essa lei não é válida para temperaturas baixas. Por fim, medimos a irradiância do corpo humano em algumas partes apenas, e vemos que a pessoa C diferiu dos outros na palma da mão e a pessoa A, no antebraço.

Referências:

- Retiro experimental