



Instituto de Física
UFRJ

Projeto de Instrumentação de Final de Curso

O Experimento de William Herschel

Mônica Sayuri Kitagawa

Profa. Suzana

Banca:

Orientador: prof. Marcos B. Gaspar - IF-UFRJ

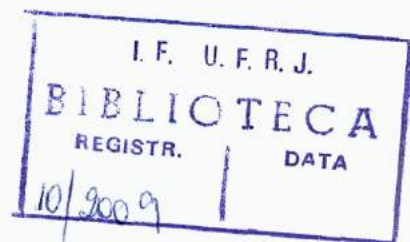
Co-orientadora: prof^a. Lígia F. Moreira - IF-UFRJ

Prof^a. Deise Miranda Vianna - IF-UFRJ

Prof. Roberto Pimentel - Colégio de Aplicação UFRJ

10/2009

Rio de Janeiro
2009



Às minhas amigas Dani, Fabi, Mary e Taty.

Agradecimentos

À minha família por me apoiar em tudo.

Aos meus orientadores prof. Marcos B. Gaspar e prof^a. Lígia F. Moreira pelo apoio, paciência e compreensão.

Aos professores Deise M. Vianna e Elton Brandão por abrir a minha mente em relação à Educação.

Aos professores de Física do Colégio de Aplicação-UFRJ: aprendi muito com vocês.

Ao pessoal da oficina do IF UFRJ, em particular o Francisco e Ricardo, por ajudarem com os experimentos.

Aos meus amigos por tudo.

RESUMO

A importância de se usar o enfoque histórico ao levar temas de Ciências para a sala de aula do Ensino Médio é mencionada em diversos textos com sugestões de como esta abordagem deve ser feita, mas nesses textos não há uma receita a ser seguida, o professor deve verificar qual seria a melhor maneira fazê-lo. Nossa proposta foi uma atividade extracurricular, experimental, para realizar uma reprodução do experimento histórico de William Herschel aos alunos do Ensino Médio, que se encaixa no tema radiações e suas interações do PCN+EM. Esse experimento foi o primeiro a detectar uma “luz invisível” hoje conhecida como radiação infravermelha. Essa descoberta foi surpreendente, pois, a única luz conhecida na época (~1800) era a luz visível. O trabalho está focado na parte histórica em relação ao experimento de Herschel, como levá-lo às escolas, mas também são mencionadas as aplicações da radiação infravermelha, pois é importantíssimo relacionar o novo conhecimento ao cotidiano dos alunos, bem como reportagens relacionadas ao tema. Foi mostrada a viabilidade de reproduzir esse experimento utilizando materiais de baixo custo.

Palavras - chave: Herschel. Infravermelho. Radiação infravermelha.

SUMÁRIO

I. Introdução	1
II. Metodologia	
2.1 Referenciais Metodológicos	3
2.2 Metodologia Aplicada.....	4
III. Contextualização Histórica	5
IV. O Experimento de Herschel na Sala de Aula.....	18
V. Passo a Passo Para a Construção do Experimento.....	22
VI. Fundamentos Teóricos	
6.1 Conceitos Básicos	25
6.2 A Radiação Infravermelha	26
VII. Aplicações do Infravermelho	28
VIII. Comentários Finais.....	32
IX. Referências	33
Anexo A	36
Anexo B	37
Anexo C	43
Anexo D	44
Anexo E	46

I. INTRODUÇÃO

O ponto de partida para este projeto foi a proposta de trabalho da autora apresentada na disciplina “Instrumentação para o Ensino de Física”, em 2008/01, do Curso de Licenciatura em Física do Instituto de Física da UFRJ, ministrado pela prof^a. Deise Miranda Vianna. Seguindo a orientação geral da disciplina, um tema do PCN+EM (BRASIL, 2002) deve ser levado aos alunos com uma questão motivadora de partida, e com uma abordagem metodológica a ser seguida. Escolhemos radiações e suas interações.

Quando se pergunta quem foi William Herschel, muitos respondem como o descobridor do planeta Urano, mas pouquíssimos sabem que foi ele quem primeiro constatou a existência de uma radiação, além daquelas cores do arco-íris conhecidas, do lado do vermelho. Ele fez esta descoberta ao refletir sobre o efeito do aquecimento produzido por uma lente convergente colocada a luz solar e a constatação da diferença de aquecimento quando utilizou combinações de vidros de cores diferentes nas observações solares. E se perguntou qual das cores, do espectro conhecido até então, contribuiria mais para aquele efeito. Realizou, então, experimentos com prisma e termômetros que mostraram que o aquecimento maior estava justamente além da faixa visível.

Reproduzir este experimento histórico de Herschel para os alunos e, principalmente, com os do Ensino Médio não é só viável como bastante motivador, como mostraremos neste trabalho.

Também abordaremos radiação infravermelha na atualidade. Segundo o PCNEM (BRASIL, 1999), o ensino da Física tem sentido somente se formar um cidadão atual, crítico, que seja capaz de intervir naquilo que acontece no seu cotidiano. Significa que a Física deve ficar na memória mesmo daqueles alunos que não irão se utilizar dela depois da conclusão do Ensino Médio. Quando escrevemos “ficar na memória” não nos referimos ao conteúdo matemático que a maioria das escolas ensina, mas com o que os alunos possam associar na sua vida diária. Também não queremos dizer que o conteúdo matemático deva ser ignorado, mas os dois devem estar associados.

“Espera-se que o ensino de Física permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação. Para tanto, é essencial que o

conhecimento físico seja explicitado como um processo histórico, objeto de contínua transformação e associado às outras formas de expressão e produção humanas.” (BRASIL, 1999)

Esse trecho do PCN+EM mostra que a Física deve ter significado para o aluno, ter relações com o mundo em que ele vive, isto é, relacionada ao cotidiano dele. Isso pode ser mostrado através de aparelhos tecnológicos que utilizam o infravermelho, relacionando a utilização desta radiação no cotidiano, como por exemplo, o controle remoto que a utiliza, bem como as questões ambientais referentes ao aquecimento global, às aplicações do infravermelho na saúde, às questões astronômicas, etc.

A proposta deste trabalho é uma atividade extraclasse em que os alunos do segundo ano do Ensino Médio irão percorrer os mesmos passos Herschel ao descobrir a radiação infravermelha.

A abordagem seguida foi o enfoque histórico. Dessa forma, o projeto foi desenvolvido utilizando-se uma pergunta motivadora que foi a própria pergunta de William Herschel: Se um feixe de luz do sol, concentrado pela refração de uma lente, produz um grande aumento de temperatura e sabendo que, também, pela refração podemos separar este feixe em diversas cores, qual a contribuição de cada cor para o aumento da temperatura? A resposta desta pergunta está dentro do tema “radiações e suas interações”, presente no PCN.

2.2 METODOLOGIA APLICADA

A atividade experimental mostra uma face diferente de uma aula teórica, onde os alunos em vez de abstrair ou interpretar enunciados teóricos e problemas, podem sair da rotina, mas também podem interagir entre eles. Além disso, eles podem perceber que a Física teórica (do Ensino Médio) é muito idealizada não levando em conta vários fenômenos da natureza que podem influenciar um experimento. Uma vantagem da atividade experimental é o envolvimento do aluno em responder as questões. Numa atividade teórica, o aluno dificilmente arriscaria dar uma resposta com medo do professor, mas a atividade experimental possibilita observar a resposta, diretamente da natureza. Outra vantagem de nos apoiarmos na teoria de Vygotsky e que sempre podemos dividir a turma em grupos, obedecendo um caráter heterogêneo. A saber, escolheremos em cada grupo um ou mais alunos, com certo domínio da matéria, alunos que estão na média da turma e completaremos o grupo com alunos que tenham dificuldade na disciplina. Nossa intenção é diminuir o máximo possível a zona proximal, destes últimos alunos, ao realizar os experimentos. Dar a eles a autonomia que os alunos mais adiantados já adquiriram, favorecendo a interação entre o grupo e também do grupo com o professor orientador da atividade.

A atividade experimental proposta é quase uma reconstrução histórica do experimento relativo à descoberta do infravermelho por Herschel. Um experimento histórico pode mostrar ao aluno que a atividade experimental requer cuidados, requer atenção e curiosidade. Além disso, podem saber que existem descobertas que foram por acaso.

A aula extraclasse deverá ter a duração de 2 horas e obedecerá a seguinte sequência:

- ⊗ Apresentação de uma avaliação diagnóstica sobre os conteúdos de calor, refração e lentes, que será realizada através de um discurso informal.
- ⊗ Separação em grupos, de no mínimo quatro alunos. Cada grupo receberá um kit e um roteiro.

III. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Muitas questões foram levantadas sobre como e quando seria possível usar a História da Física no Ensino Médio. Diversos pesquisadores mostraram a viabilidade de utilizar diversas formas de trabalhar a História da Física na sala de aula, como aula expositiva, leitura de textos, ferramenta complementar. Segundo Castro e Carvalho (1992) colocar a Ciência como algo pronto leva a sensação de falsa simplicidade que complica o entendimento dela, pois contribui para a formação de uma ciência óbvia.

Conforme mencionado, a atividade proposta aos alunos do Ensino Médio procura ser uma reprodução histórica do experimento de Herschel, portanto o professor deve ter algum conhecimento sobre a descoberta do infravermelho. Neste capítulo estão descritos, brevemente, dados sobre a natureza conhecida da luz visível e trechos traduzidos dos artigos de Herschel sobre os experimentos que originaram a descoberta do infravermelho.

Ao falar sobre o infravermelho, temos que situar o conhecimento sobre a luz na época de Herschel. A única radiação conhecida era a luz visível, assim, faremos uma breve história da luz visível com enfoque maior nos trabalhos de Isaac Newton (1642-1727), para depois descrevermos a “luz invisível” de William Herschel (1738-1822).

No século XVIII houve uma revolução intelectual na Europa, que ficou conhecida como Iluminismo. Para os iluministas a razão era a única coisa que seria capaz de esclarecer qualquer problema, possibilitando ao homem o entendimento sobre a natureza. Nessa época viveram muitos cientistas que contribuíram com idéias sobre a luz. As publicações de Newton sobre óptica no período entre 1672 a 1676 foram coletadas em *Opticks*. A primeira edição de *Opticks* foi publicada em 1704, pois em 1692 um incêndio queimou todos os seus papéis, inclusive o seu trabalho sobre óptica (GAMOW, 1963).

O primeiro artigo escrito por Newton sobre o espectro solar foi publicado em 1672 na *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Neste trabalho, Newton escreveu que ele não havia sido o primeiro a observar as cores produzidas por um prisma. Ele adquiriu um prisma para obter o “célebre fenômeno das cores” (SILVA; MARTINS, 1996). Esse fenômeno já tinha sido discutido por pelo menos quatro filósofos (Descartes, Boyle, Grimaldi e Hooke), mas os estudos deles não tinham aprofundamento matemático e não foram aceitos cientificamente. (SILVA; MARTINS, 1996).

O primeiro pensamento que ocorreu a todos nessa época (incluindo Newton) era que o prisma produzia as cores, ou seja, acreditavam que um prisma criava cores (o que é bem diferente de separar as cores).

Newton iniciou seu experimento com um prisma triangular para obter o fenômeno das cores em um quarto escuro, utilizando uma cortina com um furo para deixar uma pequena porção de luz do Sol entrar para que o prisma refratasse a luz para uma parede oposta. No Experimentum Crucis que foi uma das principais experiências de Newton, a luz atravessou dois prismas, o primeiro foi usado para reproduzir o efeito das cores e o segundo para estudar o desvio de cada cor. Ele observou que o segundo prisma não modificava a cor. A luz vermelha sofria o menor desvio e a luz azul o maior. A explicação dada foi que cada cor foi separada das outras pelo prisma devido à refrangibilidades diferentes. Nesta explicação, foi abandonada a idéia que o prisma “criava” cores. Uma importante argumentação de Newton para mostrar que as cores espectrais são imutáveis:

“A cor própria de toda luz homogênea corresponde ao seu grau de refringência e não pode ser modificado nem por reflexões nem por refrações.”. (NEWTON, 2002)

“[...] que essas cores não podiam ser modificadas por refração eu constatei ao refratar com um prisma ora uma parte minúscula, dessa luz, ora outra parte minúscula”. (NEWTON, 2002)

Nessas duas argumentações, Newton descreve como as cores da luz não poderiam ser modificadas com refrações sucessivas.

A teoria de Newton foi construída por uma complexa argumentação utilizando, além de experimentos, argumentos teóricos e epistemológicos. Newton escreveu que:

“[...] as cores são qualidades da luz, tendo seus raios como sujeito inteiro e imediato, como podemos pensar aqueles raios como qualidades também, a menos que uma qualidade possa ser sujeito e sustentáculo de outra, o que de fato é chamá-la de substância”. (SILVA; MARTINS, 1996).

“[...] quem jamais pensou que alguma qualidade fosse um agregado heterogêneo, tal como se descobriu que é a Luz? Mas não é tão fácil determinar mais absolutamente o que é a luz, de que maneira é refratada e por quais modos ou ações ela produz em nossas mentes os fantasmas das cores. E não misturarei conjecturas com certezas”.
(SILVA; MARTINS, 1996).

Nessas duas argumentações, Newton descreve a diferença entre substância e qualidade. Às cores, que são qualidades, devem ser atributos de uma substância (a luz) e não a outra qualidade. Para Newton, as propriedades das cores e da composição da luz branca eram baseadas em experimentos e não são passíveis de dúvida. Mas para explicar as cores, que são sensações da mente, seriam necessárias hipóteses incertas.

Newton usou as deflexões das cores para sua teoria do arco-íris. A outra conclusão que ele chegou com as deflexões foi achar que as lentes dos telescópios possuíam um defeito intrínseco para a formação da imagem que (erroneamente) não poderia ser corrigido e por assim deveriam ser substituídos pelos telescópios baseados na reflexão da luz. Ele descreveu uma força entre o vidro e o raio de luz. Se realmente existisse essa tal força puxando as partículas da luz para dentro do vidro, a velocidade da luz no vidro seria naturalmente maior do que a do ar, o que seria incorreto. Huygens tinha encontrado um resultado contrário ao de Newton, mas a teoria de Huygens não foi reconhecida por muito tempo, pois Newton era uma grande autoridade na época, e Huygens não teve precisão matemática para argumentar sua teoria. (GAMOW, 1963, p 94-95).

“Após a morte de Huygens e com o sucesso da mecânica de Newton, a teoria ondulatória entrou em declínio”. (da SILVA, 2007)

Na mesma época em que Huygens escreveu a sua teoria da luz, podemos citar o seu conterrâneo o pintor Vermeer que pintou quadros fantásticos utilizando a câmara escura. O artigo de Barbosa, Queiroz & Santiago (2007) mostra que na Holanda do século XVII, apareceram produções artísticas fantásticas devidas ao avanço no estudo da luz, liderados por Huygens. Assim temos uma interdisciplinaridade entre a Física e a Arte. Ciência e técnicas artísticas se desenvolviam e os trabalhos de Vermeer e de Huygens se entrelaçavam através de seus estudos sobre a luz.

Até agora, vimos a luz que o olho humano consegue captar. Vamos ver uma curiosa descoberta sobre certa “luz invisível” feita pelo astrônomo William Herschel em 1800.

Em dois trabalhos apresentados no *Philosophical Transactions of the Royal Society* em março e abril de 1800, Herschel descreve os experimentos que o levaram à descoberta desta “luz” invisível.

No trabalho de março, *Experiments on the heating Power of coloured Rays* (HERSCHEL, 1800a), Herschel refletindo sobre a condensação da luz solar no foco de uma lente convergente que produz aquecimento, achava que seria natural supor que cada um dos raios [faixas de cada cor do espectro] contribuísse de maneira proporcional para a intensidade do calor, e seria absurdo pensar que muitos destes raios não afetassem a combustão quando um objeto é colocado no foco. Mas, ao utilizar vidros de diferentes cores e diferentes combinações em seus experimentos de observação solar, percebeu-se que a sensação de calor variava de acordo com a cor do vidro, às vezes ele sentia calor, mas tinha uma pequena luminosidade, outras vezes com luminosidade maior com sensação de calor muito pequena. Herschel verificou que as combinações dos vidros influenciavam nas cores da imagem do Sol, a partir disso, ele pensou que os raios separados pelo prisma poderiam ter o poder de aquecer corpos de maneira desigual.

“If certain colours should be more apt to occasion heat, others might, on the contrary, be more fit for vision, by possessing a superior illuminating power”. (HERSCHEL, 1800a, p. 256)

“Se certas cores poderiam ser mais suscetíveis a ocasionar calor, outras ao contrário poderiam ser mais adequadas para a visão, por possuir um poder de iluminação superior” Tradução livre.

Podemos verificar que Herschel, através da vivência, da atenção e da curiosidade já caminhava para encontrar a resposta de sua hipótese. Para isso ele projetou um aparato que pode ser observado na figura 1.

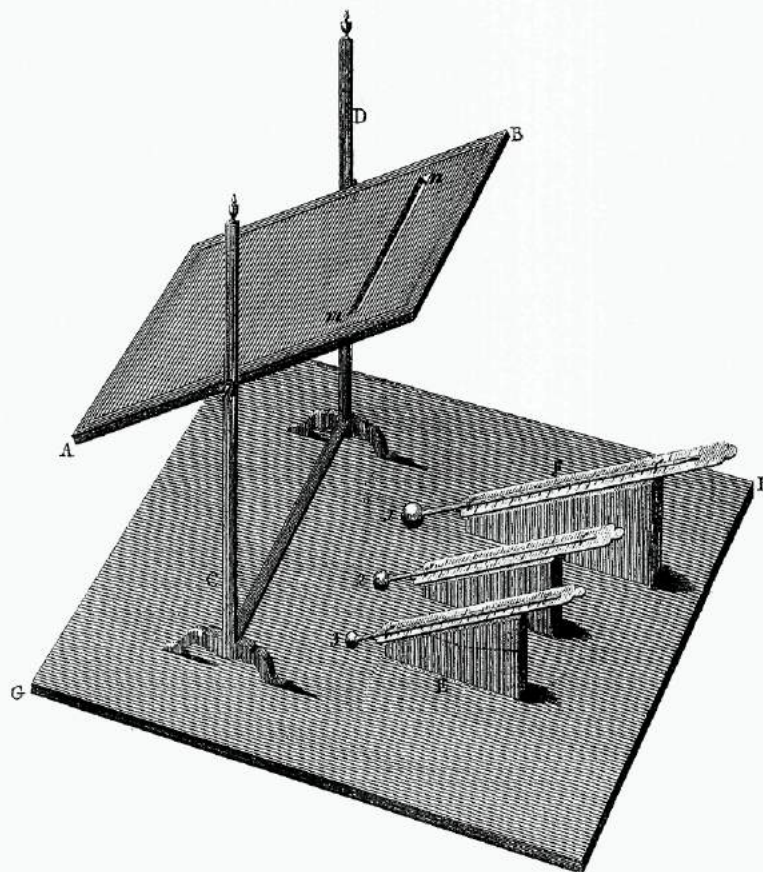


Figura 1. Aparato utilizado por Herschel (Herschel 1800a)

Herschel colocou uma placa de papelão com uma abertura mn, (figura 1) maior do que o bulbo de um termômetro e de um comprimento suficiente para deixar toda extensão das cores do prisma passar, em suportes C e D com eixo móvel. Ele colocou os três termômetros de mercúrio sobre planos inclinados E e F com seus bulbos pintados com tinta japonesa (um tipo de tinta preta usado na época). O termômetro 1 era um tanto grande, e os termômetros n°. 2 e 3 eram termômetros emprestados por seu amigo Dr. Wilson, professor de Astronomia em Glasgow. O suporte e os termômetros foram colocados em uma tábua de madeira GH.

Um prisma móvel sobre o seu eixo foi colocado na parte superior de uma janela aberta (a figura 1 não o mostra) fazendo que apenas uma cor passasse através da abertura do papelão. A partir daí, Herschel fez comparações das temperaturas obtidas pelas cores com a temperatura na sombra. Pelos experimentos, ele encontrou que a dilatação do líquido do termômetro variava para cada cor, sendo a variação do vermelho foi maior do que as cores verde e violeta.

[...] *“the heating power of the prismatic colours, is very far from being equally divided, and that the red rays are chiefly eminent in that respect”*. (HERSCHEL, 1800a, p. 261-262)

[...] *“o poder de aquecimento das cores separadas pelo prisma está longe de ser igualmente dividido, e que os raios vermelhos se destacam nesse aspecto”*. Tradução livre.

Herschel fez diversos experimentos para verificar o efeito em que diversos objetos poderiam ter sobre os raios de luz. A imagem colorida do Sol produzida por um prisma foi projetada numa mesa, iluminando os objetos sobre um microscópio. Os objetos utilizados foram: papel vermelho; papel verde; pedaço de latão; uma unha; uma *guinea* (antiga moeda de ouro inglesa); papel preto.

Merece ser mencionado que no experimento com a unha, Herschel destacou a beleza desta ao microscópio, ele também destaca que ela parece como uma brilhante constelação com milhares de pontos luminosos, espalhados sobre todo campo do microscópio (HERSCHEL, 1800a, p. 263).

As conclusões de Herschel sobre esses experimentos com respeito ao poder de iluminação de cada cor foram que os raios vermelhos estão muito longe de ter algum grau iluminação. Os raios laranja possuem um grau de iluminação maior do que o vermelho e os raios amarelos iluminam ainda mais. A iluminação máxima está no amarelo brilhante, ou verde pálido, mas o poder de iluminação diminui sensivelmente na faixa do verde profundo. Herschel percebeu que o azul possui um grau de iluminação semelhante ao vermelho; o índigo era muito menor do que o azul; e o violeta é deficiente.

Herschel percebeu que alguns raios que ocasionam calor não possuem um maior grau de iluminação e esse fenômeno poderiam ser as propriedades químicas das cores prismáticas relacionarem ao calor e a luz.

“May not the chemical properties of the prismatic colours be as different as those which relate to light and heat?” (HERSCHEL, 1800a, p. 270)

“Não podem as propriedades químicas das cores prismáticas serem tão diferentes como as que dizem respeito à luz e ao calor?” Tradução livre.

Herschel mostrou que não existe correlação entre a temperatura máxima marcada no termômetro e o máximo de iluminação obtido nos experimentos. Existe um pico na iluminação na cor amarela (que está no meio do espectro solar visível), mas o pico na temperatura é no vermelho (que está na ponta do espectro).

Nesse mesmo artigo, Herschel mostra uma dúvida sobre a natureza da luz e do “calor radiante”. Ele percebeu que o prisma refratava o “calor radiante” de maneira diferente da luz. Se não existisse essa diferença, o calor contido em um raio do Sol deveria estar uniformemente espaçado numa área igual a do prisma, levantando a hipótese de o “calor radiante” é composto por partículas de luz com certo momentum e a sua refringência se entende um pouco mais que a luz.

No segundo artigo de Herschel (HERSCHEL, 1800b) ele queria confirmar a refringência do “calor radiante”. Herschel providenciou uma pequena mesinha, e o cobriu com papel branco. Sobre este, desenhou a cinco linhas, paralelas a uma extremidade do suporte, a meia polegada de distância uma da outra, mas que a primeira delas estava 1/4 de polegada da borda, cruzando-as com três linhas perpendiculares (ver figura 2).

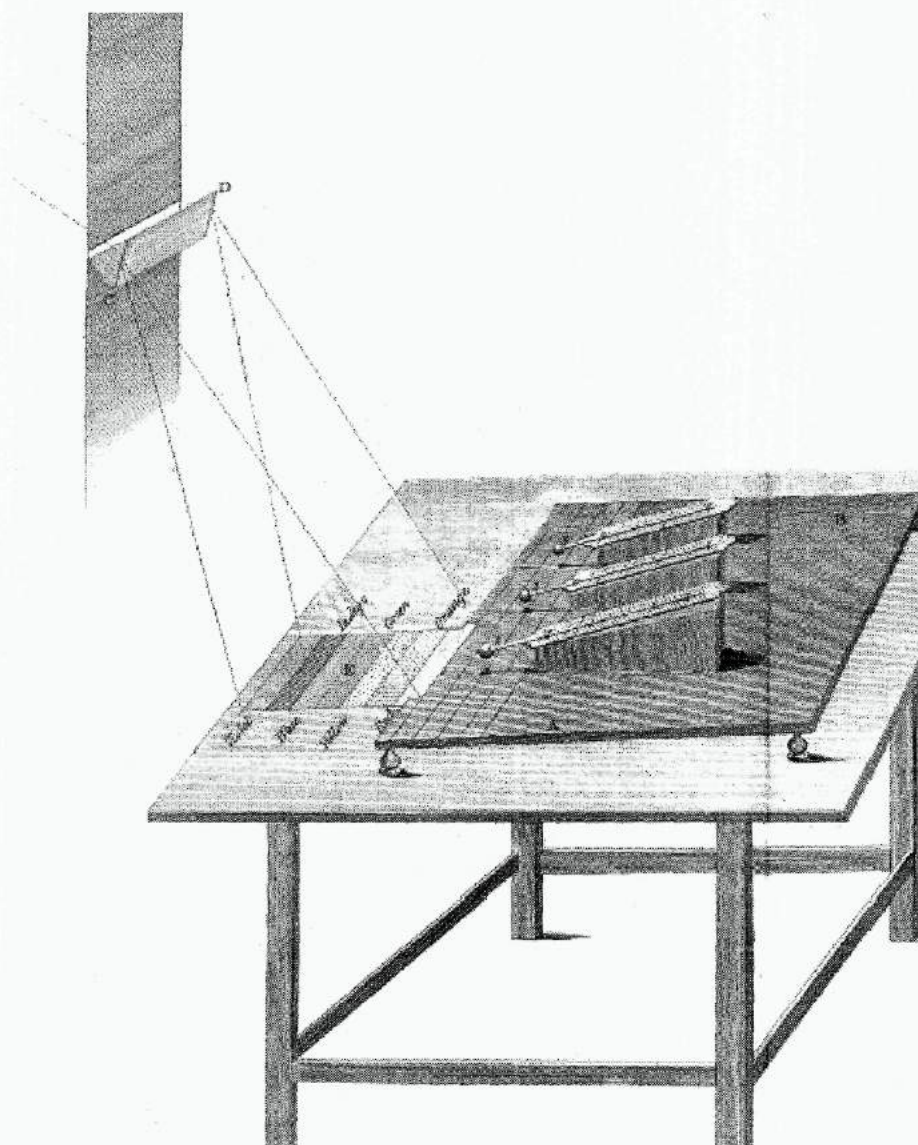


Figura 2: Aparato utilizado por Herschel (Herschel 1800b)

Os três termômetros marcados com os números 1, 2 e 3 foram colocados sobre pequenos planos inclinados de modo que as sombras dos bulbos estivessem na intersecção dessas linhas. Herschel colocou o espectro produzido pelo prisma de modo que a cor extrema caísse na borda do papel, de modo que não avançasse a demarcação. Além disso, Herschel tomou a precaução de colocar uma cortina verde na janela a fim de escurecer o ambiente.

Herschel colocou a terminação do vermelho visível na primeira linha, e os termômetros colocados na segunda linha, sendo que somente um termômetro estava alinhado com o espectro solar, ele verificou o aumento da temperatura e refez a experiência trocando os termômetros, assim, ele encontrou um aumento de $6,5^\circ$ no termômetro 1 e $2,75^\circ$ para o termômetro 2 em 10 e 12 minutos, respectivamente.

"It being now evident that there was a refraction of rays coming from the sun, which, though not fit for vision, were yet highly invested with a power of occasioning heat, I proceeded to examine its extent as follows". (HERSCHEL, 1800b, p. 286)

"Sendo agora evidente que existem raios refratados vindo do Sol, que embora não sejam visíveis, possuem alto poder de ocasionar aquecimento, eu parti para examinar esta evidência como desenvolvo a seguir". Tradução livre.

Para verificar até onde podem existir os raios invisíveis que possuem alto poder de aquecimento, Herschel continuou os experimentos afastando os termômetros da região do vermelho.

Herschel colocou os termômetros na terceira linha e encontrou um aumento de 5,25° em 13 minutos. Para a quarta linha, ele encontrou um aumento de 3,16° em 10 minutos. Mas Herschel preferiu não fazer para a quinta linha, pois o tempo estava bom o que não era esperado naquela época do ano, e preferiu verificar o outro extremo do espectro, a região violeta.

"I might now have gone to the 5th line, but, so fine day, with regard to clearness of sky and perfect calmness, was not to be expected often, at this time of the year; I therefore hastened to make a trial of the other extreme of prismatic spectrum". (HERSCHEL, 1800b, p. 286)

"Eu poderia agora ter ido para a 5ª linha; mas, num dia belo, com um céu límpido e perfeita calma, que não era esperado frequentemente, nesta época do ano, apressei para fazer a uma tentativa do outro extremo do espectro prismático". Tradução livre.

Herschel não pode determinar com precisão a terminação do violeta, pois, os raios violeta eram mais fracos. Assim, ele colocou os termômetros a uma polegada além dos raios violeta. Diferentemente da região ao lado do vermelho, em 12 minutos ele não encontrou nenhum aumento significativo na temperatura. Por isso ele colocou os termômetros no violeta visível e

encontrou um aumento de 1° em 15 minutos. Herschel concluiu a partir desses experimentos que não existe nenhum raio além do violeta que possa ser perceptível ou aquecer e que ambos continuam juntos através do espectro e termina onde o violeta desaparece.

Um ponto importante que Herschel ainda não havia verificado era a posição do aquecimento máximo, ele sabia que não estava no lado vermelho em direção ao violeta.

Herschel colocou o bulbo do termômetro 1 no centro da região vermelha e outros dois termômetros numa posição em que os raios não os afetassem. Herschel encontrou o aumento de 7° em 10 minutos. A mesinha foi recuada de modo a ter o centro do bulbo do termômetro 1 na região do desaparecimento do vermelho, isto é, a metade do bulbo estaria dentro do vermelho e a outra metade no invisível, foi encontrado o aumento de 8° em 10 minutos. Herschel prosseguiu com o próximo experimento, puxando a mesinha até que o bulbo do número 1 estivesse completamente fora dos raios visíveis, de modo a trazer o final da cor vermelha próxima ao bulbo sem tocá-la. Herschel encontrou o aumento de 9° em 10 minutos, mas ele achou que não seria adequado usar este último resultado com os anteriores, pois, a luz solar estava mais forte do que na época dos experimentos anteriores. Herschel colocou o termômetro a distância de 0,5 polegadas da divisa da luz visível encontrando um aumento de 8,75° em 16 minutos. Mas esse valor não foi muito diferente dos 9°, isso indicava que o local a ser investigado não precisava ser procurado a uma maior distância.

Herschel concluiu com os experimentos: a comprovação que existem raios vindos do Sol que são menos refratáveis do que qualquer outro raio que afeta a visão e também são responsáveis pelo alto poder de aquecimento dos corpos, mas não possuem poder de iluminar os objetos, isso explicaria o porquê desses raios passarem despercebido.

"The first experiments prove that there are rays coming from the sun, which are less refrangible than any of those that affect the sight. They are invested with a high power of heating bodies, but with none of illuminating objects; and this explains the reason why they have hitherto escaped unnoticed". (HERSCHEL, 1800b, p. 290)

"O primeiro dos 4 experimentos provou que existem raios vindos do Sol, que são menos refratáveis do que qualquer um desses que afetam a visão. Eles possuem alto poder de aquecer os corpos, mas com nenhum de iluminar os objetos; e isto explica o porquê até agora passarem despercebidos". Tradução livre.



Figura 3: William Herschel (fig. Site Coolcosmos)

O 5º e 6º experimentos mostraram que o poder de aquecimento é estendido até o violeta, mas não além dele e que enfraquecem gradualmente à medida que são mais refratáveis.

Os últimos quatro experimentos provaram que o poder de aquecimento máximo está entre os raios invisíveis e que provavelmente estaria não menos de 0,5 polegadas além do vermelho visível. Outra conclusão interessante de Herschel foi que os raios invisíveis menos refratados e consideravelmente além do máximo, ainda exercem um poder de aquecimento comparável a do vermelho e se pudesse inferir a quantidade dos invisíveis, provavelmente excederiam os visíveis em números.

"The four last experiments prove, that the maximum of the heating power is vested among the invisible rays; and is probably not less than half an inch beyond the last visible ones, when project in the manner before mentioned. The same experiments also shew , that the sun's invisible rays , in the less refrangible state, and considerably beyond the maximum still exert a heating power fully equal to that red-coloured light; and that, consequently, if we may infer the quantity of the efficient from the effect produced, the invisible rays of the sun probably far exceed the visible ones in number".
(HERSCHEL, 1800b, p. 291)

“Os últimos quatro experimentos provaram que o máximo poder de aquecimento está entre os raios invisíveis; e está provavelmente, não menos do que a metade de uma polegada além do último visível, quando projetado da forma antes mencionada. Os mesmos experimentos também mostram que os raios solares invisíveis, menos refratados, e consideravelmente além do máximo, ainda exercem um poder de aquecimento totalmente igual a da luz vermelha; e que conseqüentemente, se pudermos inferir a quantidade da eficiência do efeito produzido.” Tradução livre.

Para concluir, Herschel faz uma pergunta sobre a qualidade da luz, se a luz são os raios que iluminam os objetos e calor aqueles que aquecem os corpos, então a luz seria diferente do calor radiante? Herschel não queria responder a essa pergunta com argumentos de admitir duas causas diferentes para explicar o fenômeno.

“A beam of radiant heat, emanating from the sun, consists of rays that are differently refrangible. The range of their extent, when dispersed by a prism, begins at violet-coloured light, where they are most refracted, and have the least efficacy. We have traced these calorific rays throughout the whole extent of the prismatic spectrum; and found their power increasing, while their refrangibility was lessened, as far as confines of red-coloured light. But diminishing refrangibility, and increasing power, did not stop here; for we have pursued them a considerable way beyond the prismatic spectrum, into an invisible state, still exerting their increasing energy, with a decrease of refrangibility up to the maximum of their power; and have also traced them to that state where, though still less refracted, their energy, on account, we may suppose, of their now falling density, decreased pretty fast; after which, the invisible thermometrical spectrum, if I may so call it, soon vanished.” (HERSCHEL, 1800b, p. 291-292)

“Um feixe de calor radiante, emitida pelo Sol, consiste de raios de diferentes refrangibilidades. A extensão de sua faixa, quando dispersada por um prisma, começa na luz violeta, onde eles são mais refratados, e tem eficácia mínima. Nós temos delineado estes raios caloríferos por toda a extensão do espectro prismático; e achamos seu poder crescente, enquanto sua refrangibilidade decrescia, até os limites da luz vermelha. Mas a sua refringência decrescente e poder crescente não pararam por aqui; pois, nós os encontramos, numa distância considerável para além do espectro prismático, na faixa invisível, ainda exercendo a sua energia crescente, com uma diminuição de refringência até o máximo de seu poder; e temos rastreado também esse estado, onde, apesar de ainda menos refratados, podemos supor que, por sua densidade declinante, diminuiu consideravelmente rápido; após o que, o espectro “termométrico invisível”, se assim posso chamá-lo, logo desapareceu”. Tradução livre.

Aqui ele faz um resumo dos resultados dos experimentos para responder aquela pergunta. Herschel finaliza diferenciando a visão e sensação térmica, indicando a diferença da constituição do olho humano e de como as refringências agem sobre ele e outras partes do corpo humano. A região visível das cores interage com o olho e o restante invisível age sobre outras partes do corpo.

IV. O EXPERIMENTO DE HERSCHEL NA SALA DE AULA

↳ **Objetivos:**

Verificar a existência da radiação infravermelha empregando o enfoque histórico e experimental baseados no experimento de William Herschel.

↳ **Tema da Física a ser trabalhado:**

Radiações e suas interações

↳ **Fenômenos a serem observados:**

O fenômeno da decomposição da luz do Sol, a projeção do espectro solar sobre os termômetros mostrando variações de temperatura com um predomínio na faixa do vermelho.

↳ **Montagem:**

A montagem deste experimento foi baseada naquela apresentada no site http://www.if.ufrgs.br/~ico/fis2004/Roteiro_Experimento_Herschel.htm que é uma tradução do site <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/>. A montagem do site é diferente do que estamos propondo pois depois de alguns testes e pela proposta da atividade, seria interessante ser o mais fiel possível ao experimento original de Herschel, dentro das possibilidades de aplicação na sala de aula.

Fizemos uma montagem utilizando como suporte um cilindro de madeira que podia girar encaixado numa grossa placa de isopor como mostrado na figura 4. Essa montagem era muito boa, pois pode ser construído com materiais de baixo custo e é relativamente simples (KITAGAWA; GASPAR, 2009). Os testes feitos com essa montagem mostraram inviável em um dia com muito vento, pois o isopor é um material leve e frágil o que dificultava deixá-lo em repouso. A figura 4 foi feita no corredor do 4º andar do IF-UFRJ com as janelas abertas, para evitar alguma eventual atenuação da luz que passasse através de uma vidraça.

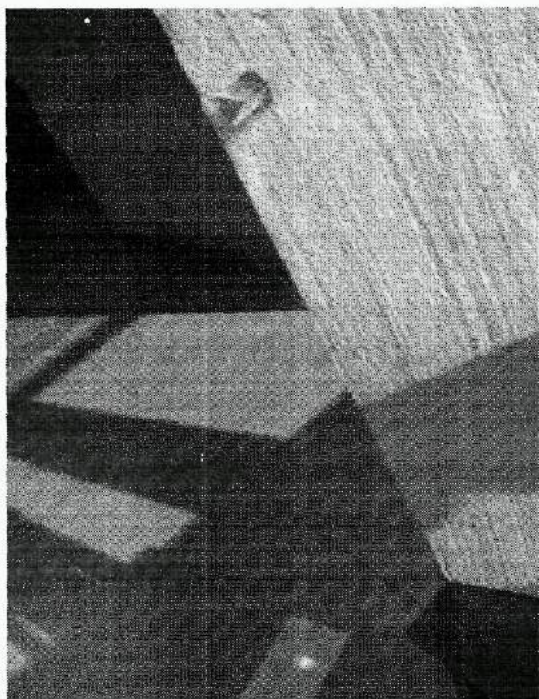


Figura 4: Foto tirada no 4º andar do IF-UFRJ

O experimento original de Herschel foi feito em uma sala onde a luz solar podia incidir diretamente no prisma através de uma janela. Essa montagem seria difícil numa escola, pois, nem sempre é possível ter uma sala de aula com essas características. Portanto, foi preciso encontrar uma montagem relativamente simples que pudesse resolver o problema de localização.

A montagem que o site Coolcosmos propõe é interessante, mas, a região de sombra da caixa é muito limitada, dependendo do horário do experimento, no caso do Sol a pino.

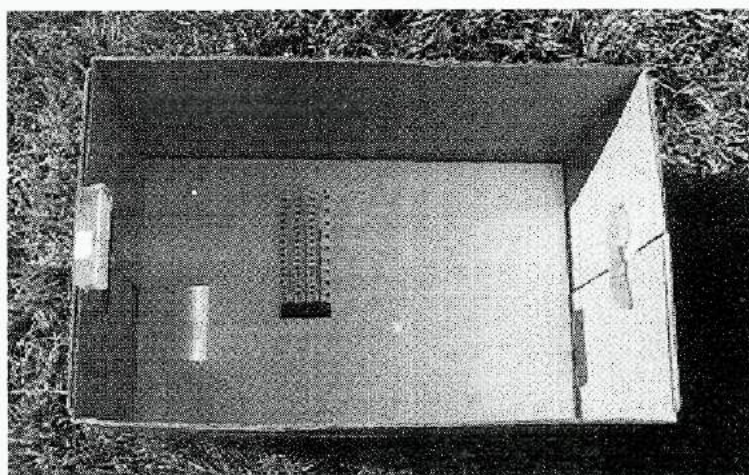


Figura 5: Montagem do site Coolcosmos

Para resolver esse problema, optamos pela montagem de uma caixa fechada, com uma abertura para que o espectro solar possa ser projetado dentro dela. Utilizamos um pedaço de arame enrolado para ser o suporte do prisma (mais detalhes na seção passo a passo).

Os termômetros utilizados apresentam discrepâncias até 1°C quando colocados juntos à temperatura ambiente. Esta foi a razão da aquisição de um número maior de termômetros permitindo a seleção de um grupo deles que apresentassem a melhor concordância na extensão da coluna de álcool para uma mesma temperatura (mais detalhes na seção passo a passo).

🔗 Sugestão de roteiro:

O experimento de Herschel

Introdução

O astrônomo William Herschel, utilizando diversos tipos de lentes para a observação do Sol, percebeu que a sensação de calor variava com a cor de vidro. Às vezes, ele sentia calor com uma pequena luminosidade, outras, com luminosidade maior, porém, sensação de aquecimento muito pequena.

Herschel verificou que as combinações dos vidros influenciaram nas cores da imagem do Sol, a partir disso, ele pensou que os raios solares separados pelo prisma poderiam ter o poder de aquecer corpos de maneira desigual. Para poder verificar isso, ele construiu o seu experimento que ficou conhecido como o “experimento de Herschel”.

O experimento de Herschel foi construído visando responder a sua própria curiosidade.

Qual seria o poder de aquecimento de cada cor?

Atividade

Em grupos (no mínimo três grupos), vocês irão responder essa pergunta utilizando os seguintes materiais: termômetros a álcool, prisma e caixa de papelão.

Cada grupo deve escolher uma região do espectro e anotar a temperatura dessa região e a temperatura da sombra conforme a tabela. Sendo que um grupo deverá escolher a região invisível depois do violeta, outro grupo deverá ficar com a região invisível ao lado do vermelho e o(s) grupo(s) restante deverão escolher cores na região visível.

Nº do termômetro no espectro: _____

Nº do termômetro na sombra: _____

Região escolhida: _____

	Temperatura da região	Temperatura na sombra
Inicial (na sombra)		
Depois de 1 min.		
Depois de 2 min.		
Depois de 3 min.		
Depois de 4 min.		
Depois de 5 min.		

- 1 - Verifique se houve variação da temperatura após 5 minutos $T_{\text{cor}} - T_{\text{sombra}}$.
- 2 - Compare os valores encontrados com os valores das outras cores.
- 3 - O que vocês podem concluir sobre isso?
- 4 - Explique **detalhadamente** como atua cada material (prisma, termômetro) utilizado neste experimento. Por exemplo, para que serve o termômetro, por que tem o bulbo pintado de preto, como vocês observaram a indicação do termômetro. **Descreva** o fenômeno físico envolvido no funcionamento de cada material.

V. PASSO A PASSO PARA A CONSTRUÇÃO DO EXPERIMENTO

Materiais:

Um pedaço de arame de 35 cm aproximadamente

Enfeites de parede com termômetro.

Pedaço de E.V.A

Isopor

Caixa de papelão

Cola quente

Superbonder

O enfeite de parede foi comprado na forma de violão e o termômetro foi retirado da sua moldura.

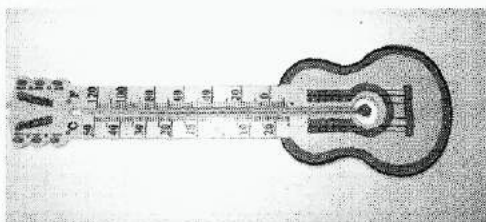


Figura 6: Enfeite de parede

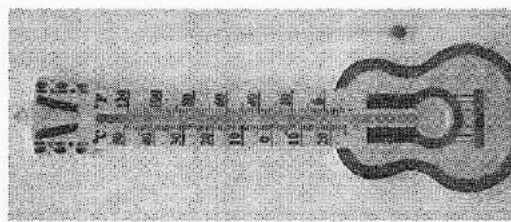


Figura 7: O termômetro separado da moldura

O bulbo do termômetro foi pintado com tinta acrílica preta



Figura 8: termômetro normal e com o bulbo preto.

A moldura foi cortada para somente aproveitar a escala termométrica.



Figura 9: A moldura cortada

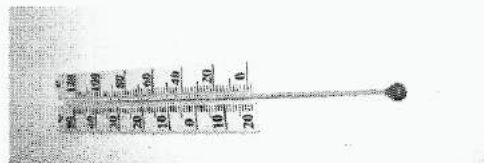


Figura 10: A parte necessária da moldura com o termômetro.

O suporte do termômetro foi feito com isopor, deve-se manter o bulbo a uma pequena distância da superfície.

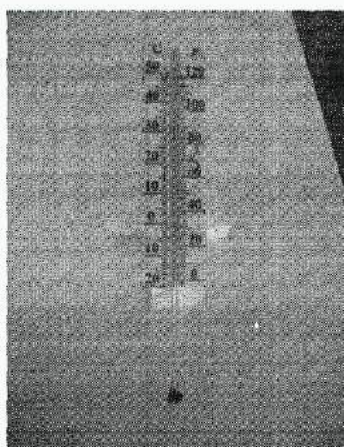


Figura 11: O termômetro sobre o suporte

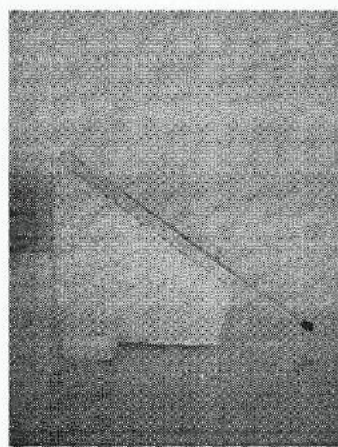


Figura 12: O suporte de perfil

As duas pontas do arame foram enroladas na forma de espiral com alicates. Os centros das duas espirais foram aproximados conforme a figura 13. A distância entre os centros deve ser menor do que a altura do prisma. Foram colados com Superbonder dois pedaços de E.V.A. nos centros figura 14.

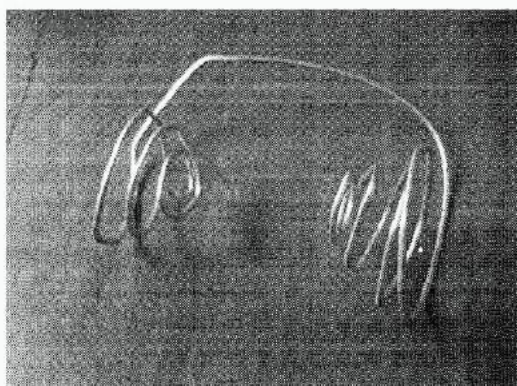


Figura 13: Arame enrolado

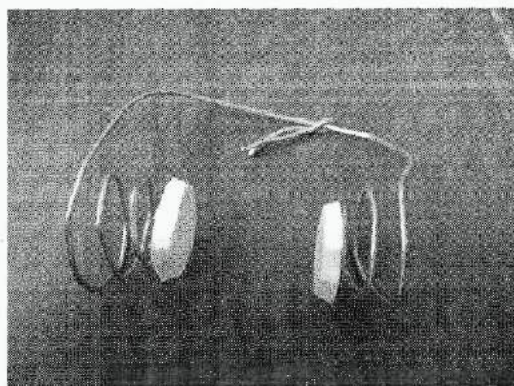


Figura 14: Dois pedaços de E.V.A. colados no arame

O suporte foi colocado e preso a caixa de papelão com um pequeno pedaço de arame.

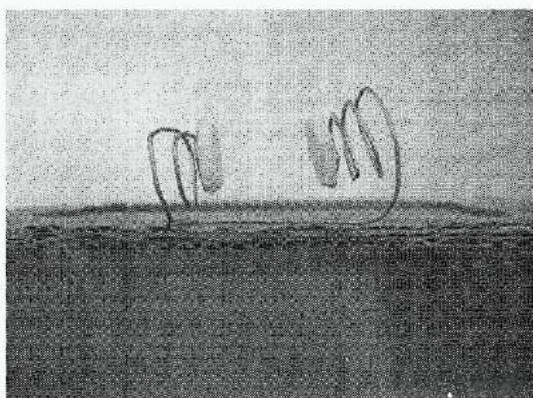


Figura 15: O suporte preso a caixa

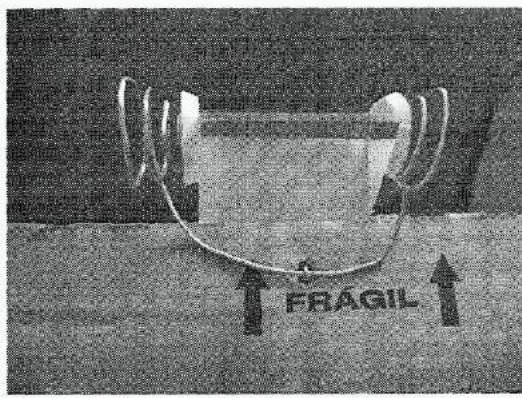


Figura 16: O prisma encaixado ao suporte

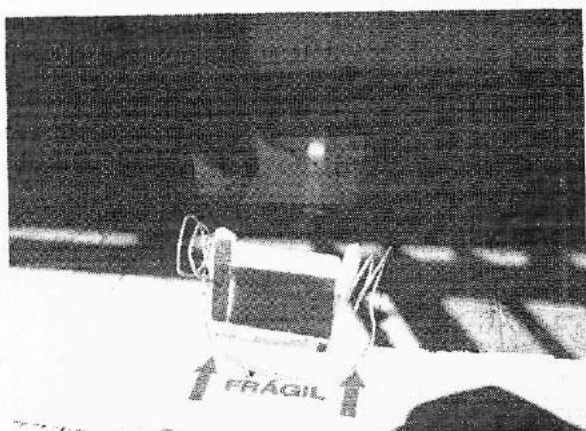


Figura 17: O espectro sendo projetado.

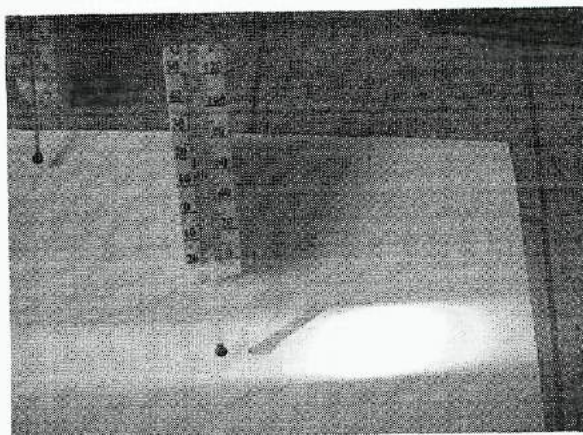


Figura 18: Medindo a temperatura

VI. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

6.1 CONCEITOS BÁSICOS

Os conteúdos necessários para que os alunos desenvolvam a atividade são:

Conceitos de calor e temperatura
Aquecimento por irradiação térmica
Dispersão da luz

Esses conceitos serão brevemente abordados seguindo a linguagem utilizada nos livros de Ensino Médio.

Calor e temperatura:

São conceitos que muitas vezes confundem o aluno, pois, muitas vezes eles associam as duas palavras no mesmo conceito. Por isso devemos separar muito bem o significado físico de calor e temperatura.

A temperatura está associada com o nível de agitação molecular de um corpo. É a grandeza que mostra o quanto um corpo está quente ou frio.

Calor é a energia que flui de um corpo para outro. Para que seja espontâneo, o calor flui de um corpo com maior temperatura para o de menor temperatura.

O termômetro é o instrumento para medir o grau de agitação das moléculas. Um tipo comum de termômetro consiste em um tubo de vidro que contém em seu interior um líquido vermelho, o líquido dilata devido ao calor recebido de uma fonte de maior temperatura. A extensão da dilatação de uma coluna do líquido marca uma temperatura.

Irradiação Térmica:

“A irradiação é o modo pelo qual um corpo emite continuamente energia, sob a forma de radiações – ou ondas – de natureza eletromagnética.” (GUIMARÃES; FONTE BOA, 2006).

Os corpos escuros absorvem mais radiação, por isso o bulbo do termômetro foi pintado de preto.

Dispersão da luz:

Quando a luz solar atravessa um meio mais refringente, ocorre o fenômeno da dispersão da luz, que é a decomposição da luz solar em diversas cores. No vácuo, a luz se propaga com a mesma velocidade, não acontecendo em outros meios, cada cor possui uma velocidade ligeiramente diferente. Essa é a causa da dispersão da luz.

6.2 A RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

A radiação infravermelha utilizada na astronomia está na faixa de 0,7 a 350 microns e está localizada entre a região visível e a radiação microondas figura 19. O infravermelho astronômico se divide em infravermelho próximo, médio e distante.

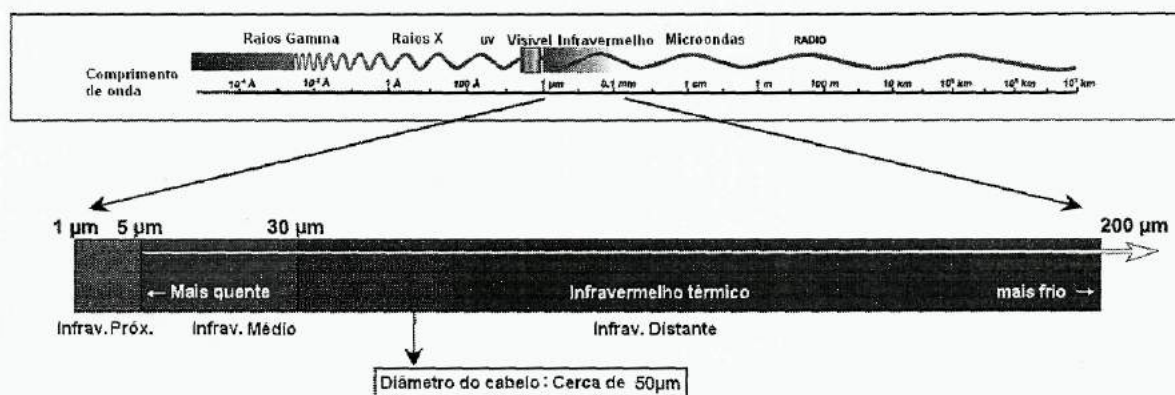


Figura 19: O espectro eletromagnético com destaque na região do infravermelho. Figura adaptada do site Coolcosmos.

A radiação infravermelha é a medida da energia térmica, ou seja, a temperatura. Qualquer objeto com a temperatura acima do zero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) emite no infravermelho. Quando um objeto não é suficiente quente para emitir a luz visível, ele emite no infravermelho. Podemos exemplificar com a chaleira quente que não emite luz (não confundir com a reflexão da luz visível), mas emite no infravermelho, que é a sensação de calor que sentimos ao aproximar a mão nela.

Já foi mencionado diversas vezes que o infravermelho é invisível para o olho humano, mas existem câmeras que podem “enxergar” essa radiação. Câmaras de imagem térmica possuem lentes, como qualquer câmera, mas neste caso a lente focaliza o infravermelho nos

sensores infravermelhos. A câmera infravermelha detecta a emissão do infravermelho convertendo-o em sinais eletrônicos que depois é processada para produzir uma imagem térmica e realizar cálculos de temperatura. Temos exemplos de fotografias com essa câmera, nas figuras 21 e 23 sendo a escala de temperatura em °F.

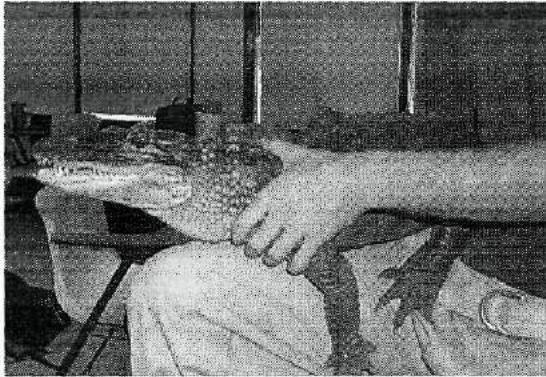


Figura 20: fotografia de animais no visível. (fig do site Coolcosmos)



Figura 21: Fotografia de animais no infravermelho (fig. do site Coolcosmos)

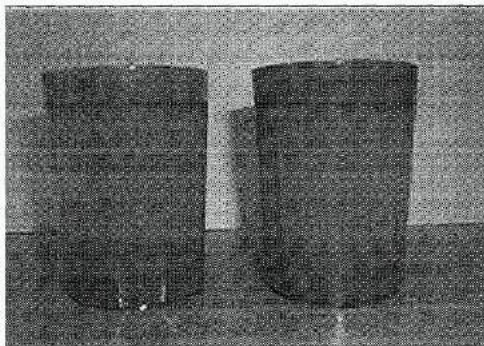


Figura 22: Fotografia de copos contendo líquidos (fig do site Coolcosmos)

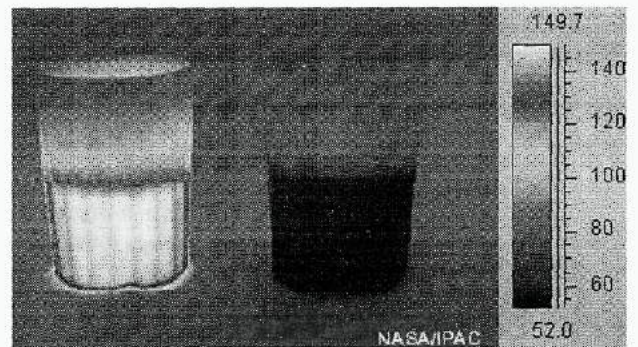


Figura 23: A fotografia revela que um líquido está a temperatura maior que o outro (fig do site Coolcosmos)

VII. APLICAÇÕES DO INFRAVERMELHO

Além do aspecto histórico sobre a descoberta do infravermelho devemos relacionar essa radiação com a vida dos alunos associando às suas aplicações. Podemos exemplificar as aplicações do infravermelho em diversas áreas, tais como as tecnológicas, biológicas ou astronômicas.

Na área tecnológica podemos exemplificar o controle remoto, que emite infravermelho e pode ser detectado através da câmara fotográfica; a espectroscopia molecular no infravermelho (mais detalhes no anexo A)

Na área biológica podemos mostrar quando tomamos banho de Sol sentimos o calor no nosso corpo, essa sensação é a resposta ao infravermelho. Essa radiação estimula a moléculas de nossa pele a vibrar e as células nervosas adaptadas interpretam como calor (ATKINS; JONES, 2006).

Existem tratamentos médicos que utilizam a radiação infravermelha, podemos citar a termoterapia transpupilar (TTT) que é um tratamento utilizado para pequenos melanomas (tumor da pele) até 4,0 mm de espessura. Essa técnica utiliza o infravermelho para elevar a temperatura do tumor, que contém vasos sanguíneos irregulares, impedindo a boa disseminação de calor aquecendo-se, mais que os tecidos próximos ao tumor. A temperatura utilizada, na faixa de 40 – 60 °C, faz com que o sangue fique na condição subcoagulável (não totalmente coagulado) em que a necrose (morte do tecido) ocorra alguns dias depois da sessão.

O infravermelho também é importante nas questões ambientais como o efeito estufa, que é a retenção de radiação infravermelha por alguns gases que compõem a atmosfera terrestre. A maior parte da atmosfera (99,93%) é composta por gases que possuem limitada interação com o infravermelho, por exemplo, o nitrogênio (N_2), o argônio (Ar) e o oxigênio (O_2). Entretanto existem gases que absorvem e emitem o infravermelho, esses gases ocupam menos de 0,1% do volume total da atmosfera, podemos citar exemplos como o dióxido de carbono, (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ozônio (O_3). Também existe vapor de água que ocupa aproximadamente 0,1% do volume, todos eles são importantes para o efeito estufa (MACHADO, 2005). Esses gases mesmo ocupando uma parcela mínima da atmosfera conseguem reter a radiação infravermelha suficiente para aumentar cerca de 33°C a

temperatura da Terra. Se não existisse o efeito estufa, seria difícil manter a vida no planeta Terra da maneira que conhecemos.

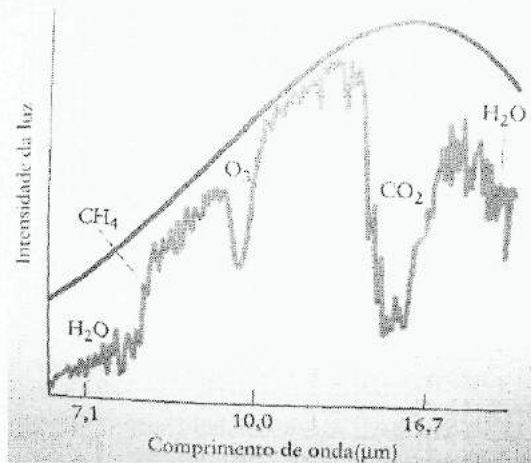


Figura 24 A linha azul mostra a intensidade da radiação infravermelha perdida pela Terra se não houvesse o efeito estufa. A linha laranja mostra a intensidade do infravermelho absorvida por cada gás do efeito estufa. (figura: ATKINS; JONES, 2006)

Os estudos feitos na Antártica mostraram que a concentração de metano e dióxido de carbono na atmosfera se correlaciona com as mudanças da temperatura da superfície da Terra. A partir de 1750, a concentração de CO₂ aumentou muito devido ao desmatamento e, principalmente, da queima de combustíveis fósseis. O metano adicional vem da indústria de petróleo, pecuária e da agricultura.

O aumento da temperatura na superfície do planeta está entre as consequências do aumento da concentração dos gases do efeito estufa. Segundo o Painel Intergovernamental da Mudança no Clima até 2100 a atmosfera da Terra sofrerá um aumento de 3°C com o aumento de 0,5m do nível do mar, parece pequeno, mas mostra que a velocidade do aquecimento será mais alta do que nos últimos 10 000 anos. Essa mudança rápida pode acarretar na destruição de ecossistemas.

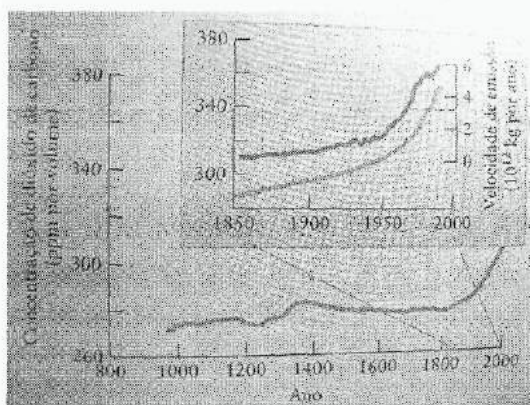


Figura 25: Concentração de CO₂ na atmosfera nos últimos 1000 anos. A linha azul mostra a emissão de CO₂ (figura: ATKINS; JONES, 2006).

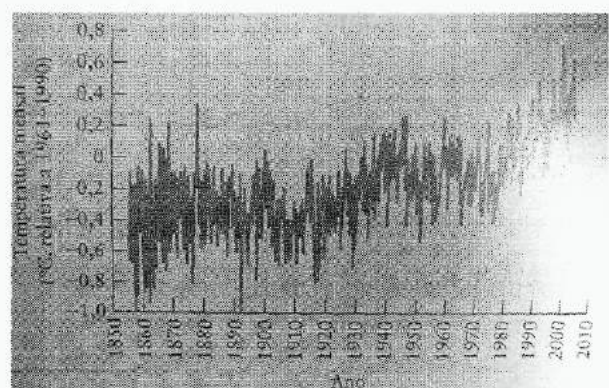


Figura 26: Mudança média da temperatura da superfície terrestre, em comparação com a temperatura média durante 1961-1990. (figura: ATKINS; JONES, 2006)

Foram propostas diversas alternativas para a redução da emissão de CO₂, uma delas é a utilização de hidrogênio ao invés dos combustíveis fósseis. Uma alternativa para a redução de metano, conforme a notícia de novembro no site da BBC (anexo E), cientistas australianos

estão estudando em criar uma ovelha que arroto menos, já que o arroto de um ruminante libera o gás metano. Eles testaram diversos animais e verificaram que alguns arrotam mais do que os outros. O metano possui o poder de aquecer 17 vezes mais do que o gás carbônico.

A mídia mostra várias matérias relacionadas com o infravermelho, podemos citar sobre cientistas que usam o infravermelho contra surdez, publicado em 2008 (anexo C) no site da BBC; a máquina de fazer pizza utilizando essa radiação publicada no site O Globo (anexo D) em março deste ano. Mas existem sites que vendem produtos utilizando a radiação infravermelha com propriedade terapêutica, não tendo comprovação científica. Por este motivo, o site da unimag [<http://unimag.com.br/site2009/inicialanvisa.php>] teve a propaganda suspensa pela ANVISA, pois os colchões fabricados por essa empresa utilizavam pastilhas de ímãs e infravermelho “com propriedades terapêuticas”.

O professor deve estimular os alunos a terem senso crítico para não cair nas armadilhas da publicidade ou em falsas notícias. Sites, tais como, os da BBC e O Globo têm um padrão de qualidade mínimo, mas sempre devem ser questionados. A matéria sobre as ovelhas da BBC não informa qual instituição está financiando o estudo ou os nomes dos cientistas envolvidos, é uma notícia bastante questionável. A outra reportagem da BBC sobre a surdez é mais confiável, já que informa a instituição que está sendo feito a pesquisa e os cientistas envolvidos. A reportagem sobre a máquina de fazer pizza do site O Globo informa o inventor, e faz entrevistas sobre os prós e contras do uso dessa máquina e mostra as fotos. É uma reportagem somente a nível de curiosidade não trazendo prejuízos para quem a lê, ao contrário dos colchões. Pessoas desinformadas poderiam por a saúde em risco se utilizarem produtos não cientificamente comprovados.

A radiação infravermelha também está relacionada à Astronomia. O campo da Astronomia no infravermelho mede pequenos valores de energia térmica a grandes distâncias. A luz proveniente de vários corpos celestes oferecem várias informações, mas nem toda radiação eletromagnética emitida pelo objeto celeste chega à superfície terrestre. A figura 15 mostra a janela atmosférica para diversas radiações. A atmosfera terrestre atua diferentemente para cada comprimento de onda, dependendo da região espectral. A atmosfera pode ser totalmente opaca, transparente ou parcialmente transparente para uma dada região, a janela atmosférica é a capacidade da atmosfera ser transparente em um determinado comprimento de onda. A figura 15 também mostra quais são as melhores formas de observação astronômicas devido à opacidade atmosférica.

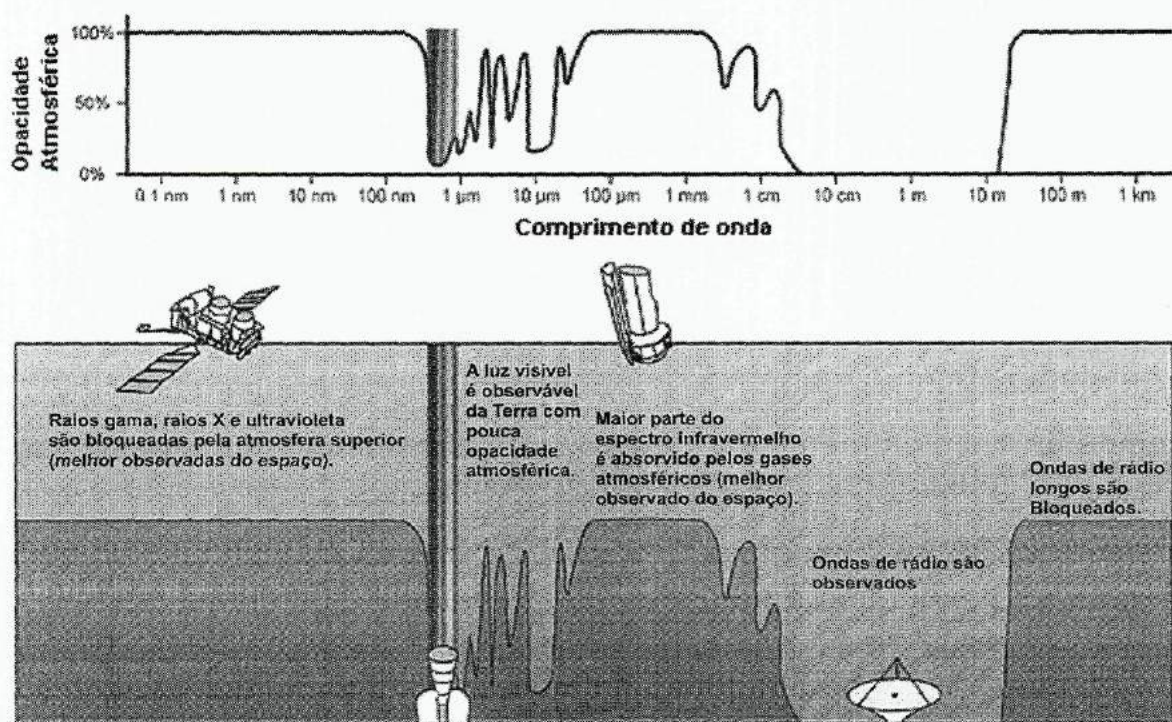


Figura 27: Mostra a opacidade atmosférica para diversas regiões do espectro eletromagnético. (figura adaptada do site Coolcosmos)

Já foi comentado anteriormente que o infravermelho é absorvido por alguns gases da atmosfera terrestre, por isso a observação no infravermelho é feita por satélites, mas existe uma pequena janela para o infravermelho em que a coleta de dados pode ser feita na superfície da Terra, mas em altas altitudes. Podemos citar o observatório Gemini que foi construído para observações das radiações na faixa do visível e do infravermelho. O Brasil tem direito a 2,31% do tempo de telescópio destinado a pesquisas. O telescópio Gemini Sul está localizado no deserto do Atacama a 2.720 m de altitude e o telescópio Gemini Norte a 4.220 m de altitude, no vulcão adormecido Mauna Kea no Havai. Existem outras formas de coletas de dados no infravermelho que podem ser vistas no anexo B.

VIII. COMENTÁRIOS FINAIS:

Mostramos a viabilidade em reproduzir o experimento de Herschel utilizando materiais de baixo custo baseando-nos nos textos originais de Herschel. Devemos enfatizar essa informação já que existem poucas referências sobre essa descoberta em livros textos e se procurarmos na internet, a maioria deles não informa corretamente como foi a descoberta, simplificando-a demais ou dando a entender que a descoberta não foi por acaso [http://www.feiradeciencias.com.br/sala08/ET_01.asp]. Recomendamos o site Coolcosmos [<http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/>] que é um excelente site para professores e alunos, tanto na parte histórica como nas atividades.

Expomos várias aplicações do infravermelho nas diversas áreas do conhecimento, que envolvam questões interdisciplinares.

A atividade que propusemos é uma forma de levar o conhecimento da radiação infravermelha usando o experimento de Herschel às escolas do Ensino Médio. Cabe ao professor decidir como usá-la.

A atividade foi levada ao Colégio de Aplicação da UFRJ em uma turma do segundo ano do Ensino Médio. Os dados obtidos não estão em um capítulo próprio porque poucos alunos participaram desta atividade. Esta experiência foi no último dia de aula, em que os alunos estavam interessados em saber se ficariam em recuperação em alguma disciplina. Os alunos que fizeram a atividade escolheram para medir a temperatura, as regiões violeta, amarelo e infravermelho. Eles encontraram um aumento de 1°C na região do infravermelho, mas não encontraram aumento nas regiões amarelo e violeta. É interessante mencionar que o tempo neste dia não era bom, havia alguma nuvem tênue passando em frente ao Sol o que influenciou nas medidas. Mesmo com esses contratempos, a atividade funcionou bem, um dos alunos explicou para o outro sobre o funcionamento do prisma, mostrando a aplicação do referencial metodológico de Vygotsky, e os alunos puderam perceber a existência de uma luz invisível ao lado do vermelho que ocasionou um aumento significativo na temperatura. Não foi feita a atividade nas outras turmas do segundo ano por causa do tempo que ficou completamente fechado.

IX. REFERÊNCIAS

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de Química – Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**, São Paulo, Bookman, 2006

BARBOSA-LIMA, M.C.; QUEIROZ, G.; SANTIAGO, R. **Ciência e arte: Vermeer, Huygens e Leeuwenhoek**. Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007.

(BRASIL, 1999) Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Brasília: MEC/Semtec, 1999.

(BRASIL, 2002) Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN + Ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

(BRASIL, 2006) Orientações curriculares (2006) – **Orientações Curriculares para o Ensino Médio, Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Secretaria de Educação Básica – Brasília. Ministério de Educação Básica, 2006.

CASTRO, Ruth Schimtz de, CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **História da Ciência: Investigando Como Usá-la Num Curso de Segundo Grau**. Cad. Cat. Ens. Fís. v.9, 1992

CHOJNIAK, M. M. M; GUIA, T.; UNO F.; ERWENNE, C. M. **Termoterapia Transpupilar em Melanoma Maligno da Coróide**. Arq. Bras. Oftalmol. vol.64 no.2 São Paulo Mar./Apr. 2001 http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0004-27492001000200008&script=sci_arttext&tlng=pt Acesso em 30/10/2009

da SILVA, F. W.O. **A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, 2007.

GAMOW, George. **Biografia da Física**, Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1963.

GASPAR, Alberto. **Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental**, São Paulo: Editora Ática, 2005.

GUIMARÃES L. A. M.; FONTE BOA, M. C. **Física - Termologia e Óptica**, 2ª edição, 2006

a- HERSCHEL, William. **XIII. Investigation of the power of the prismatic colours to heat and illuminate objects**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1800, p.255-283.

b- HERSCHEL, William. **XIV. Experiments on the refrangibility of the invisible rays of the Sun**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1800, p. 284-293.

KITAGAWA, Mônica Sayuri; GASPAR, Marcos. B. **Infravermelho na sala de aula**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009

MACHADO, Pedro L. O. de A. **Carbono do Solo e a Mitigação da Mudança Climática Global**. Química Nova, Vol. 28, No. 2, 329-334, 2005

MOREIRA, Marco Antonio. **Teorias de Aprendizagem**, São Paulo, U.P.U. 1999

NEWTON, Isaac. **Óptica**. São Paulo: Edusp, 2002

OLIVEIRA, Luiz Fernando C. de. **Espectroscopia Molecular**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, nº 4, Maio 2001

SILVA, Cibelle Celestino; MARTINS, Roberto de Andrade. **A “nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: Uma tradução comentada**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 18, n. 4, 1996.

SILVA, Cibelle Celestino; MARTINS, Roberto de Andrade. **A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula**. Ciência & Educação, v. 9, n. 1, 2003.

Coolcosmos: <http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/> Acesso em 14/10/2009

http://www.bbc.co.uk/portuguese/ciencia/2009/11/091129_australiaovelhasml.shtml

Acesso em 30/11/2009

http://www.bbc.co.uk/portuguese/reporterbbc/story/2008/11/081123_surdez_dg.shtml

Acesso em 23/11/2008

<http://oglobo.globo.com/economia/mat/2009/03/27/chefs-italianos-estao-atonitos-com-maquina-de-fazer-pizza-em-tres-minutos-755028556.asp> Acesso em 27/03/2009

http://odia.terra.com.br/portal/brasil/html/2009/11/anvisa_proibe_propaganda_de_colchoes_sem_registro_48208.html Acesso em 30/11/2009

http://www.lna.br/gemini/gem_hist.html Acesso em 02/12/2009

ANEXO A

Espectroscopia molecular

Quando há a interação entre a matéria e a radiação, ocorre algum fenômeno dependendo da natureza da radiação. Neste trecho somente trataremos da interação da radiação infravermelha com alguma molécula. A vibração molecular pode ocorrer quando uma molécula formada por dois ou mais átomos interage com a radiação eletromagnética. As vibrações podem ser o aumento da distância média da ligação ou a deformação dos ângulos de ligação dos átomos.

O modelo utilizado para entender esse fenômeno é o de oscilador harmônico, figura 16.

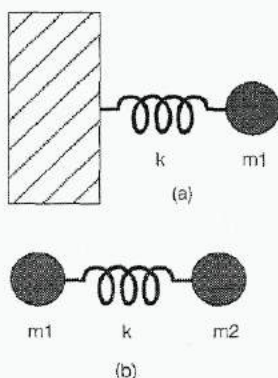


Figura 28: Modelo do oscilador harmônico: (a) partícula ligada a uma parede de massa muito maior, e (b) duas partículas de massas m_1 e m_2 ligadas. (fig. OLIVEIRA, 2001)

Para entender o modelo, iniciamos com o modelo da partícula ligada a uma parede de massa muito maior. O movimento da bola, nessa situação, será periódico devido a compressão e distensão da mola fazendo que a bola aproxime e afaste da parede.

No segundo caso, duas bolas de massas m_1 e m_2 ligadas por uma mola, podem ser associadas a moléculas diatômicas, como os gases O_2 e N_2 que ocupam a maior parte da

atmosfera terrestre e a mola seria a ligação química entre os dois átomos. A constante elástica da mola está relacionada com a força da ligação, ou seja, se a ligação química for forte, a constante elástica também será maior.

Tanto no caso (a) como o (b), a partícula inicia o movimento quando se afasta da parede ou de outra partícula, assim, a mola aplica uma força contrária havendo uma frequência de oscilação característica para cada um dos casos. Sabendo qual é a frequência de oscilação, podemos calcular qual é a energia referente através da equação de Planck. A frequência de oscilação é a assinatura da molécula quando interage com alguma radiação.

A espectroscopia no infravermelho verifica a assinatura de uma molécula quando interage com a radiação infravermelha. Para cada molécula ou substância existe uma assinatura diferente.

ANEXO B




Curiosidade: A Linha do Tempo na Astronomia no infravermelho


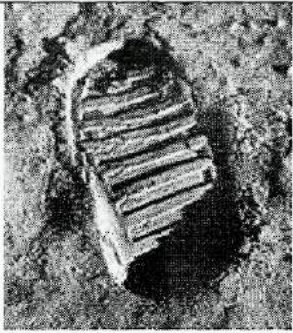
Vamos ver como a tecnologia de detecção da radiação infravermelha evoluiu, do mais simples ao mais avançado.


Tradução livre do site:

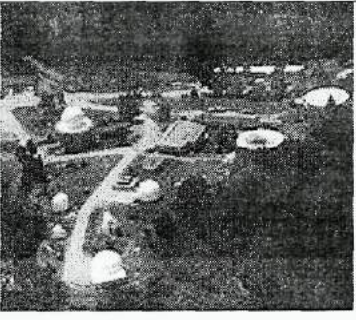
http://coolcosmos.ipac.caltech.edu/cosmic_classroom/timeline/index.html

Acesso em 02/12/2009. Todas as figuras são desse site.

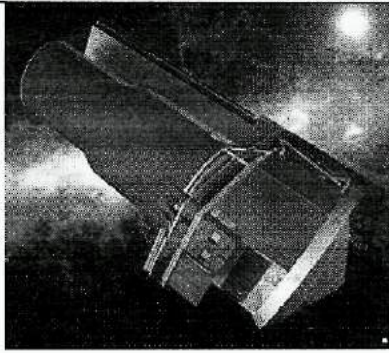
	<p>1800 - William Herschel detectou a luz infravermelha, enquanto media as temperaturas nas cores do espectro solar criado pela passagem através de um prisma. Herschel observou um aumento da temperatura do azul para a parte vermelha do espectro. Ele, então, mediu a temperatura na região apenas após o vermelho, onde não há luz visível, e para sua surpresa, esta região registrou a temperatura mais alta de todas. Este experimento mostrou pela primeira vez que há uma luz que não podemos ver com nossos olhos. O infravermelho se tornou a primeira radiação invisível que foi descoberta. A experiência de Herschel mostrou também que o Sol é uma fonte de luz infravermelha.</p>
	<p>1856 - A radiação infravermelha foi detectada a partir da Lua por Charles Piazzi Smyth do pico de Guajara em Tenerife. Ele usou um termopar (um dispositivo que converte calor em corrente elétrica) para detectar a luz infravermelha da Lua cheia. Piazzi também fez observações em diferentes altitudes e mostrou que estas são melhores em altitudes mais elevadas. Esta foi a primeira indicação de que a nossa atmosfera absorve alguma parte da radiação infravermelha do espaço.</p>
	<p>1870 - O IV Conde de Rosse detectou a radiação infravermelha da Lua durante várias de suas fases. Ele usou suas medidas do infravermelho para tentar estimar a temperatura da superfície da Lua. Esta é uma imagem de 1997 da lua eclipsada no infravermelho.</p>

	<p>1878 - O bolômetro foi desenvolvido por Pierpoint Samuel Langley. Este instrumento é um detector elétrico de calor radiante que pode detectar uma ampla gama de comprimentos de onda infravermelhos (longe da região da descoberta de Herschel). O bolômetro de Langley é sensível às diferenças de temperatura de cem milésimo de grau Celsius ($0,00001^{\circ}\text{C}$). O bolômetro atual é usado para estudar a intensidade da radiação infravermelha do Sol.</p>
	<p>1915 - William Coblentz desenvolve detectores termopilha enquanto trabalhava no National Bureau of Standards E.U.. Detectores Termopilha são basicamente vários termopares unidos. Ele usou esse novo detector para medir a radiação infravermelha de 110 estrelas, bem como de planetas, como Júpiter e Saturno, e diversas nebulosas. William Coblentz se tornaria o fundador da moderna espectroscopia no infravermelho.</p>
<div data-bbox="233 938 456 1299" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="277 1313 435 1344" data-label="Caption"> <p>Edison Pettit</p> </div> <div data-bbox="505 938 743 1299" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="521 1313 732 1344" data-label="Caption"> <p>Seth B. Nicholson</p> </div>	<p>1920 - As primeiras observações sistemáticas de objetos celestes no infravermelho foram feitas por Seth B. Nicholson, Pettit Edison e outros astrônomos americanos. Eles usam um termopar a vácuo para medir a radiação infravermelha da Lua, dos planetas, das manchas solares e das estrelas. Seus estudos sobre o infravermelho lhes permitiram fazer algumas das primeiras medições do diâmetro das estrelas gigantes.</p>
	<p>1948 - Os estudos do infravermelho da Lua revelou que a sua superfície era coberta com um pó fino (mais de 20 anos antes do desembarque da Lua). Esta camada espessa de pó é devido aos impactos de meteoritos durante bilhões de anos. Mais tarde descobriu este pó de dois a dez metros de espessura nas planícies e centenas de milhares de metros de espessura nas terras altas lunares.</p>
	<p>1950 - Astrônomos começaram a usar os detectores de PbS para estudar a radiação infravermelha. Quando a radiação infravermelha cai em uma célula PbS ela muda a resistência da célula. Esta mudança na resistência pode ser medida e está relacionada à quantidade de radiação infravermelha que cai sobre a célula. Para aumentar a sensibilidade da célula de PbS era resfriado a uma temperatura de 77 Kelvin, colocando-o em uma garrafa cheia com nitrogênio líquido. O desenvolvimento de detectores de PbS</p>

	<p>permitiu aos astrônomos estudarem a radiação infravermelha do espaço a um comprimento de onda de cerca de 3 microns (um microm é um milionésimo de metro).</p>
	<p>1959 – 1961. Harold Johnson construiu o primeiro fotômetro de infravermelho próximo e ampliou a investigação de infravermelho para o comprimento de onda de 4 microns. Esses fotômetros mediam a intensidade da luz através da comparação de uma intensidade desconhecida com uma intensidade padrão ou conhecida. O fotômetro de Johnson aumentou a precisão das medições de infravermelhos. Ele e sua equipe observaram de milhares de estrelas nesta nova banda do infravermelho próximo, fornecendo informações úteis sobre a radiação de estrelas frias. Johnson também definiu o primeiro sistema de magnitudes no infravermelho.</p>
	<p>1961 - O bolômetro de germânio foi desenvolvido por Frank Low. Este instrumento era centenas de vezes mais sensível do que os anteriores. A radiação infravermelha bate no germânio, aquecendo-o e mudando a sua condutividade. Essa mudança pode ser medida e está relacionada à quantidade de radiação infravermelha que entra no recipiente. O bolômetro de germânio funciona melhor em temperaturas extremamente baixas (muito menor do que a do nitrogênio líquido). Era colocado em um recipiente de metal (Dewar) preenchida com hélio líquido que resfriava a 4 Kelvin.</p>
	<p>Início dos anos 60 - Balões carregavam os telescópios de infravermelhos até altitudes de 25 milhas. Já que a atmosfera da Terra bloqueia a maior parte da luz infravermelha, sendo assim, a melhor maneira de estudar todos os comprimentos de onda infravermelhos seria sobre a atmosfera. Em 1963, um bolômetro de germânio foi acoplado a um balão para observações no infravermelho do planeta Marte. Começando em 1966, o Instituto Goddard de Ciências Espaciais usou balões para pesquisar o céu em 100 microns. Seu programa levou à descoberta de cerca de 120 fontes de luz infravermelha próximo do plano da nossa galáxia Via Láctea.</p>

	<p>Final dos anos 60 - Telescópios resfriados de infravermelhos foram colocados em foguetes que poderiam observar o céu durante alguns minutos antes da reentrada. O primeiro mapa de todo o céu no infravermelho foi resultado do de uma série de vôos de foguetes pela Air Force Cambridge Research Laboratory. A Air Force Sky Survey cobriu quase 90% do céu em comprimentos de onda de 4,2, 11, 20 e 27,4 microns. Embora o tempo de observação total acumulada por estes vôos foi de apenas cerca de 30 minutos, com sucesso detectou 2363 fontes confiáveis de infravermelho.</p>
	<p>1967 - Fundação do Observatório Mauna Kea. Logo se tornou o mais importante sítio terrestre para a astronomia de infravermelho. Novos observatórios especializados em Astronomia de infravermelhos se tornaram possíveis na década de 60 devido aos avanços nos detectores de infravermelhos. Com altitude de 13.796 pés, os observatórios de Mauna Kea situam em uma região de pouca umidade.</p>
	<p>1968 - O primeiro varredor de infravermelho próximo, o Two Micron Sky Survey, foi feito no Observatório de Monte Wilson usando nitrogênio líquido detectores de PbS resfriados, que eram mais sensíveis a 2,2 microns. Esse levantamento abrangiu cerca de 75% do céu e encontrou cerca de 20.000 fontes de infravermelho, que incluem regiões de formação estelar, galáxias, nosso centro galáctico e numerosas estrelas. As 5500 fontes mais brilhantes compuseram o primeiro catálogo de estrelas de infravermelhos.</p>
	<p>1970 - O Mount Lemmon Observatory Infrared foi estabelecido nas montanhas Catalina do Arizona. Este observatório iria se tornar um dos mais importantes sítios para a astronomia de infravermelho.</p>

	<p>Início dos anos 70 - A maioria das galáxias encontradas emitem fortemente no infravermelho, incluindo a nossa própria galáxia - a Via Láctea. Quasares e outras galáxias ativas também são fortes emissores de infravermelho. Esta imagem infravermelha da galáxia de Andrômeda foi tomada vários anos depois (em 1983) pelo satélite IRAS.</p>
	<p>1974 - O Kuiper Airborne Observatory (KAO) iniciou as operações de investigação. O KAO é um avião de transporte a jato C-141A que transporta um telescópio infravermelho até altitudes de 12.000 m. O KAO foi usado para descobrir os anéis de Urano em 1977, e a presença de água nas atmosferas de Júpiter e Saturno.</p>
	<p>1983 - Lançamento do satélite IRAS (Infrared Astronomical Satellite). Durante dez meses o IRAS examinou mais de 96% do céu, em comprimentos de onda de 12, 25, 60 e 100 microns. O IRAS dobrou o número de fontes astronômicas catalogadas por detectar de cerca de 500.000 fontes de infravermelho. As descobertas do IRAS incluíram um disco de grãos de poeira em torno da estrela Vega, seis novos cometas, e forte emissão no infravermelho de galáxias em interação, bem como as nuvens de poeira quente que são encontradas em quase todas as direções do espaço. IRAS também revelou pela primeira vez o núcleo central de nossa galáxia.</p>
	<p>1997 - A câmera infravermelha NICMOS (Near Infra-Red Camera and Multi-Object Spectrometer) foi colocada no telescópio espacial Hubble. Este instrumento, constituído por três câmeras e três espectrômetros, fornece espectros e imagens em alta resolução no infravermelho próximo.</p>
	<p>2001 - O Interferômetro Keck é parte do esforço da NASA para encontrar planetas e vida além do Sistema Solar. Ele irá combinar a luz dos telescópios gêmeos Keck para medir a emissão de poeira próxima às estrelas, detectar diretamente os planetas gigantes, as imagens dos discos ao redor de estrelas jovens e outros objetos de interesse astrofísico e pesquisar centenas de estrelas para a presença de planetas com o tamanho de Urano ou maior.</p>



2003 – Lançamento do Telescópio Espacial Spitzer, É o último dos "grandes observatórios da NASA" no espaço. Spitzer é mais sensível do que as missões de infravermelhos anteriores e vai estudar o universo em uma ampla gama de comprimentos de onda do infravermelho. O Spitzer se concentrará no estudo de anãs marrons, super planetas, discos protoplanetários, galáxias ultra luminosas, galáxias ativas, e as pesquisas no universo primordial.

ANEXO C

Reportagem do site da BBC de 23/11/2008: Cientistas tentam usar luz infravermelha contra surdez

Segundo os cientistas da Northwestern University, no Estado americano de Illinois, o ouvido pode ser estimulado tanto por som como por luz.

Um estudo publicado na revista científica New Scientist afirma que o uso de luz infravermelha obteve melhores resultados contra a surdez do que implantes cocleares em testes com preás.

Nos últimos anos, o uso de implantes cocleares (ou "ouvidos biônicos") ajudou a combater a surdez. O implante funciona com a instalação de 20 eletrodos direcionados para estimular os nervos do ouvido interno, mas ele é limitado, especialmente em ambientes barulhentos.

Isso acontece porque as células ciliares de ouvidos saudáveis são muito mais precisas na captação de sons do que os implantes artificiais.

Acaso

O pesquisador Claus-Peter Richter, da Northwestern, acredita que uma descoberta feita ao acaso pode levar à criação de um novo implante, que usaria luz infravermelha em vez de eletrodos.

Em uma operação, cirurgiões que usaram laser para corrigir um problema de audição descobriram que as células nervosas do ouvido podem ser estimuladas com luz infravermelha.

A forma como isso acontece ainda não é conhecida pelos cientistas. Richter acredita que o fenômeno tem alguma ligação com o calor da luz.

O uso de luzes infravermelhas, que seriam muito mais precisas do que os eletrodos, poderia melhorar a forma como o implante estimula o cérebro em reação ao som.

Os cientistas usaram luzes infravermelhas para estimular os nervos de preás surdas e mapearam a atividade neurológica entre o ouvido interno e o cérebro. O mapa do processo com infravermelho foi mais detalhado do que o produzido com o ouvido biônico.

Richter agora está trabalhando para produzir aparelhos óticos que poderiam ser implantados em ouvidos de surdos.

ANEXO D

Reportagem do site OGlobo de 27/03/2009: Chefs italianos estão atônitos com máquina de fazer pizza em três minutos.

Uma máquina para fazer pizza em questão de minutos, por alguns euros, está causando comoção entre os cozinheiros italianos antes mesmo de chegar ao mercado, o que está previsto para acontecer nas próximas semanas.

A máquina "Let's Pizza" utiliza raios infravermelhos e uma tecnologia desenvolvida na Universidade de Bolonha pra transformar farinha e água em massa, cobri-la com molho de tomate e uma seleção de sabores, cozinhando tudo em menos de três minutos.

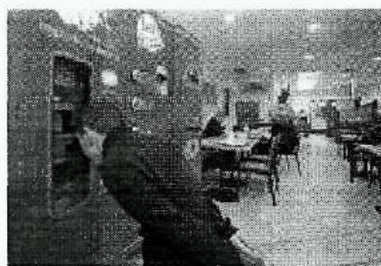
“Esta não é apenas uma máquina expressa, é uma mini-pizzaria”

Seu criador, Claudio Torghele, afirma que a máquina demonstrou ser fácil de usar em testes realizados em duas regiões italianas, mas os gourmets argumentam que fere os métodos tradicionais da cozinha típica.

- Esta não é apenas uma máquina expressa, é uma mini-pizzaria - diz Torghele, de 56 anos.

- Tem janelas que permitem ver o processo de elaboração da pizza. As crianças, inclusive o meu filho, ficam encantadas. Quando a máquina entra em funcionamento acaba atraindo uma multidão - conta.

A máquina foi desenvolvida pelo grupo anglo-holandês Unilever e aprovada na Alemanha - diz Torghele. Seu criador espera lançar a máquina em toda a Europa e nos Estados Unidos, com ingredientes que variam de acordo com os gostos locais.



A Itália é famosa por sua culinária e há um movimento neste país contrário ao fast-food, apelidado de "comida lenta". Entretanto, tem mais máquinas expressas que qualquer outro país europeu, segundo uma entidade da indústria, a maioria de café.

“Esta máquina é um brinquedo. Talvez encontre mercado no exterior”

Os puristas dizem que a pizza italiana - inventada no século XVII, na cidade de Nápoles - não pode ser feita às pressas, uma vez que a massa deve descansar por 12 horas, os ingredientes devem estar frescos e o forno precisa ser aquecido a 300°C.

- Esta máquina é um brinquedo - diz Pino Morelli, da Associação de Pizzarias italiana. - Talvez encontre mercado no exterior, mas os italianos nasceram com a pizza, suas mães os criaram com ela - acrescenta.

Na Pizzaria Brandi, no centro de Nápoles, a reação à invenção de Torghele foi fria. O restaurante inventou a pizza Margherita em 1889, em homenagem à rainha que unificou o país. O tomate, o queijo e o manjericão lembram a bandeira italiana.

- Infelizmente, hoje a gente inventa muitas coisas, mas não se usa parâmetro de comparação, em especial, em termos de qualidade - avalia o chefe Marcello.

- O único benefício é o preço - acrescenta.

- Devemos ignorar a 'máquina de pizzas' e trazer de volta as velhas juke-box, pelo menos, eram encantadoras - disse Paolo Pagnani, proprietário do histórico restaurante.

ANEXO E

Reportagem do site da BBC de 29/11/2009: Para conter poluição, australianos tentam criar ovelha que arrota menos.

Cientistas na Austrália estão tentando criar uma espécie de ovelha que solte menos arrotos, em um esforço para combater as mudanças climáticas.

Cerca de 10% das emissões de gases poluentes da Austrália provêm do metano produzido pela população de 8 milhões de ovelhas do país, além do gado.

Os especialistas do Sheep Cooperative Research Council estão tentando descobrir se existe alguma influência genética na produção de arrotos pelas ovelhas, observando sua ruminação e sua digestão.

Se provarem que genes estão por trás de uma digestão mais "ecológica", eles esperam obter uma nova espécie de animal mais "amigo do meio ambiente".

Origem genética

Até o momento, os cientistas testaram 200 animais e descobriram que metade arrota mais do que a média, enquanto a outra metade produz uma quantidade de metano consideravelmente menor.

Segundo eles, a explicação para isso é simples: as ovelhas que comem mais arrotam mais.

Mas os especialistas acreditam que outros fatores também influenciam na ruminação e podem apontar para uma origem genética.

O gás metano proveniente do processo digestivo tem uma capacidade de provocar o aquecimento ambiental 17 vezes maior que o gás carbônico.