



Aluna: Dóris Kohatsu

Seminário 6 – Cor estrutural

28.set.2016

Atividade motivacional

[Distribuir kit com transparência pintada com esmalte transparente com glitter, papel celofane nacarado, papel de presente com efeitos coloridos, botão de madrepérola, pena de com cor estrutural – rabo de galo, pato, pavão – e cor por pigmento.]

[Mostrar objetos de madrepérola, vidro pintado esmalte transparente com glitter sobre fundo branco e sobre fundo preto iluminados com luz intensa, preferencialmente.]

- Observem as penas dos pássaros, o botão de madrepérola o que há de diferente nas suas cores? Quando você as movimenta, as cores mudam?
- O que acontece com o glitter quando você olha com diferentes ângulos? E quando você o coloca em diferentes fundos? As cores mudam? Por quê?
- Como percebemos as cores?
- Por que os animais são coloridos

Introdução

O pavão macho realiza uma dança para cortejar a fêmea. Antes se acreditava que uma cauda maior, mais exuberante quando aberta, era o principal fator de escolha da fêmea. No entanto, mais recentemente, pesquisadores observaram que há uma relação entre maior movimentação com a cauda e escolha da fêmea. Resultado interessante, uma vez que a coloração da pena do pavão macho depende da direção da luz incidente e da luz proveniente da pena. O movimento provocaria alterações interessantes na coloração. Nesse exemplo, vemos com a cor é forma comunicação. E parece que a inteligência da natureza proporciona estruturas certas para os indivíduos certos.



Figura 1 – Pavões macho cortejando a fêmea.

A cor de um objeto depende da luz incidente, da estrutura físico-química do objeto e da interação da luz com esse objeto. Em linhas gerais, há duas maneiras de produção de cor na natureza:

Cor por pigmento

Gerada pela absorção e reflexão ou reemissão da luz. É uma cor “química” porque é gerada pela presença de pigmentos, encontrada na maioria dos seres vivos.

Cor estrutural

É uma cor “física” uma vez que há ausência de pigmentos coloridos. A cor é resultado de efeitos ópticos superficiais gerados por interferência, difração e espalhamento em estruturas nanométricas presentes na asa do pavão macho, no beija flor, por exemplo. As cores mudam dependendo de onde observamos.

Furta-cor — substantivo masculino (sXVII) Cor cambiante, de tonalidade alterada conforme a luz que se projeta sobre ela; furta-cores.

Dicionário Online Houaiss

A cor estrutural popularmente é chamada de *furta-cor*.



Figura 2 – (a) Pavão macho (b) Beija flor (c) Besouro - *Crysolina americana* Linneus

No esmalte com glitter, no papel celofane nacarado e no papel de presente vimos algumas aplicações de como a pesquisa sobre cor estrutural na natureza é aplicada no dia a dia.

O que já aprendemos sobre cores?

A cor de um objeto resulta da percepção do(s) comprimento(s) de onda da luz captados pelas células do olho e interpretado(s) pelo cérebro de cada um. A cor que captamos depende da interação da luz incidente com a estrutura do objeto.

A luz branca é policromática, ou seja, contém todas as cores. Como ela pode ser decomposta?

Refração

O arco íris é formado pela refração da luz do Sol nas gotas de água da chuva. A luz refrata quando a muda de meio atravessando uma superfície transparente. A lei de Snell mostra o comportamento da onda refratada:

$\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$	<p>n = índice de refração v = velocidade da luz λ = comprimento de onda da luz θ = ângulo do raio de onda da luz com a normal</p>
---	---

Quanto maior o comprimento de onda, maior o ângulo de refração.

Para observarmos a separação das cores, o caminho percorrido pela luz deve ser longo o suficiente. Por isso não observamos o espectro da luz toda vez que a luz refrata.



(a)



(b)

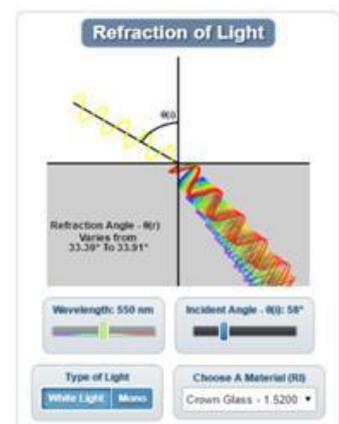


Figura 4 – Simulador online de refração

Figura 3 – Decomposição da luz num por refração. (a) No arco íris, as gotas de água funcionam como um prisma (b) decompondo a luz do Sol.

https://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/doublerainbow1_large_jpg_image.html

<https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/refraction/refractionangles/index.html>

[Um prisma ou um tubo de caneta Bic transparente podem ser utilizados para observar a decomposição da luz branca por refração.

A simulação indicada permite demonstrar a dependência do índice de refração, comprimento de onda e ângulos de incidência e refração.]

Difração

A onda luminosa difrata quando encontra um obstáculo, como uma fenda ou uma partícula cujas dimensões sejam da ordem do comprimento de onda da luz. Se o obstáculo for uma fenda simples (figura 6) :

$$m \cdot \lambda = d \cdot \sin \theta$$

d = abertura da fenda
 θ = ângulo relacionado com a posição do mínimo
 λ = comprimento de onda
 $m = 0, 1, 2, \dots$



(a)



(b)

Figura 5– Decomposição da luz por difração. (a) num DVD - numa rede de difração (b) numa fenda simples https://sites.ualberta.ca/~pogosyan/teaching/PHYS_130/FALL_2010/lectures/lect36/lecture36.html

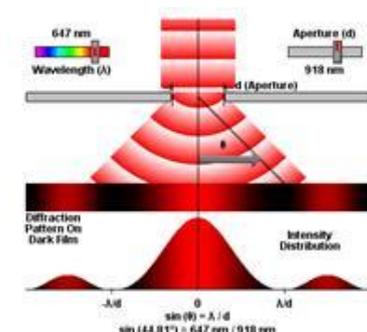


Figura 6 – Simulador online de difração <https://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/diffraction/basicdiffraction/index.html>

As cores de maior comprimento de onda (vermelho, alaranjado) estão mais afastadas da região central.

[Um CD ou DVD podem ser utilizados para observar a decomposição da luz branca por difração.

A simulação indicada permite demonstrar a dependência entre a abertura da fenda e o comprimento de onda.]

Interferência em filme fino

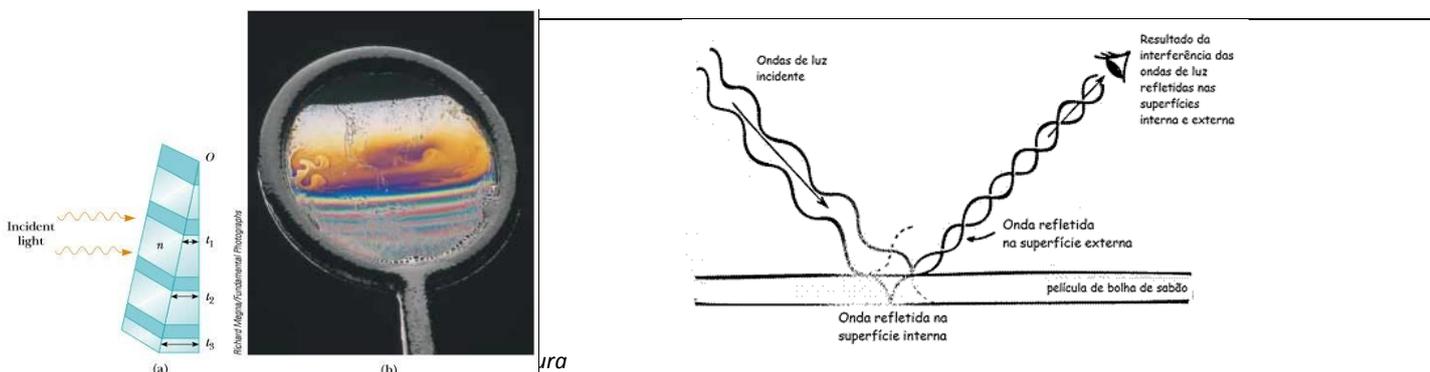


Figura 7 – Decomposição da luz por interferência. Espessuras diferentes na bolha de sabão causam diferentes interferências das ondas luminosas e diferentes cores. <https://www3.nd.edu/~amoukasi/CBE30361/Useful%20files/Interference%20of%20Light%20Waves.pdf> (Acesso em 14.08.2016)

As manchas coloridas numa bolha de sabão é resultado da interferência das ondas luminosas que refletem nas superfícies interna e externa da película que formam a bolha de sabão. Esse fenômeno é chamado de *iridescência* e pode ser observado em películas finas transparentes, ou filmes finos, cuja espessura é aproximadamente igual ao comprimento de onda da onda luminosa.

A onda de luz refletida na superfície interna percorre distância diferente da onda de luz refletida na superfície externa. Quando as duas frentes de onda se encontram, pode ocorrer interferência construtiva ou destrutiva. Quando a película é iluminada por luz branca, numa região a película tem a espessura para causar a interferência destrutiva da luz amarela, por exemplo. Ao subtrair a luz amarela da luz branca, a cor complementar da luz amarela é a luz azul, ou seja, a onda luminosa refletida será azul. Numa outra região, com espessura diferente, outro comprimento de onda da luz tem interferência destrutiva, e outra cor é subtraída cor da luz branca. Portanto, as diferenças na espessura da película causam a visão de diferentes cores.

Para um observador próximo à normal, quando a luz incidindo do ar para a película, temos

$$d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{n} \quad m = 0,1,2...m = \text{máximo} \quad . \text{ (Interferência construtiva)}$$

d = espessura do filme
 λ = comprimento de onda dentro do filme
 n = índice de refração do filme em relação ao ar

$$d = m \cdot \frac{\lambda}{n} \quad m = 0,1,2...m = \text{mínimo} \quad . \text{ (Interferência destrutiva)}$$

Espalhamento Rayleigh

Quando uma partícula da dimensão do comprimento de onda da luz interage com a onda luminosa branca, a luz é espalhada. A intensidade (*I*) da luz visível espalhada pela é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda (λ):

$$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

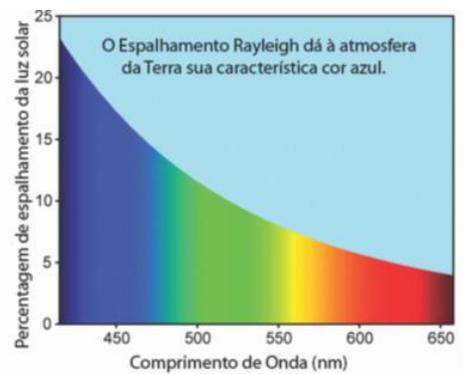


Figura 8 – Espalhamento da luz solar na atmosfera. http://www.on.br/pequeno_cientista/conteudo/revista/pdf/cores_ceu.pdf (Acesso em 28.08.2016)

A cor estrutural nos seres vivos

Nos seres vivos, a coloração estrutural forma-se através da interferência em filmes finos, o caso de maior ocorrência, espalhamento e difração da luz. A polarização da luz também participa da formação da coloração estrutural mas não abordamos nesse seminário.

O quadro a seguir, resume as principais características de cada fenômeno óptico.

O que	Como	Onde
<ul style="list-style-type: none"> - Mudança de cor com a direção pouco acentuada. - Iridescência - Brilho metálico 	Interferência	Pavão macho, beija flor, pomba, galo, galinha. Borboletas, besouros, asas transparentes de insetos. Nácar – madrepérola, pérola. Toupeira; brilho no cabelo, nas unhas; olhos de felinos e animais de hábito noturno.
<ul style="list-style-type: none"> - Mudança de cor conforme a direção acentuada. - Coloração visível somente em luz direta - Iridescência 	Difração	Besouros; cobra azul – <i>Drymacon corais</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Cor não muda com a direção - Sem iridescência 1. Azul (azul de Tindall), verde e roxo 	Espalhamento de Rayleigh e/ou pigmentação	Arara Azul; Arara Canindé, outros pássaros com coloração azul e verde; água viva, peixes, borboletas, camaleões, cobras, íris do olho humano; veia azul; cor da pele de humanos e macacos.

- Mudança de cor conforme a direção
A visão das cores depende da posição do observador em relação à luz proveniente da superfície reemissora da luz. A intensidade é maior na direção normal.
- Iridescência (do grego *íris, íridos* que significa arco-íris)
Resulta da interferência da luz em filme fino. Portanto, a percepção das cores depende da posição do observador.
- Brilho metálico
Na interferência em filme fino há alta refletividade, semelhante a que ocorre em metais, devido à dupla reemissão da luz: a primeira pela superfície externa superior e segunda pela superfície interna inferior. Nos metais a maior refletividade é devido aos elétrons livres. A coloração por pigmento tem refletividade bem menor.

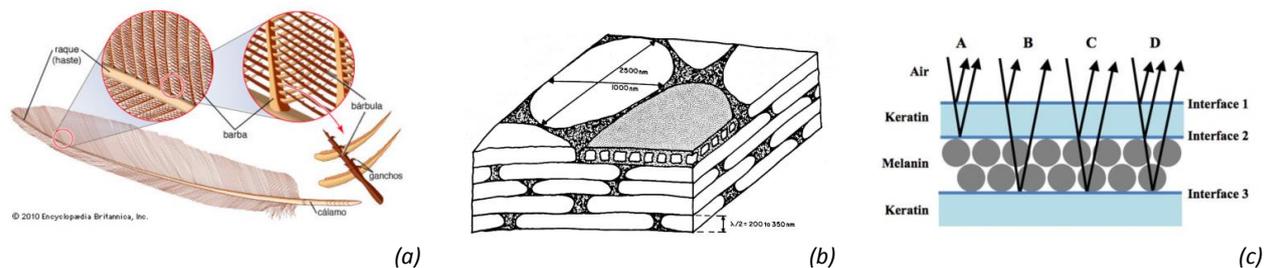


Figura 9 – Cor estrutural em aves. (a) Estrutura da pena. (b) Esquema da estrutura na bárbula de um beija flor onde há interferência. (c) Esquema geral de interferência nas bárbulas de aves.

- Por que o fundo preto?
Onde há cor estrutural, há um fundo preto, originado pela presença de melanina, que absorve a luz, barrando a sua transmissão. Assim, capta-se com maior eficiência a luz reemitido pelas superfícies externa e interna.
- Filme simples
Na asa transparente da libélula e outros insetos há interferência em filme simples. (Figura 10 a)
- Múltiplos filmes
Nas penas das aves e nas asas das borboletas a coloração resulta de um processo de interferência em múltiplos filmes. (figuras 10 b, c).



Figura 10 – (a) Interferência em filme simples. (b) Escamas da asa da borboleta *Doxocopa-cyane-reducta*. (c) Interferência em múltiplas camadas (c).

- Os olhos dos felinos e outros animais brilham à noite graças a uma camada de filmes múltiplos no coróide, formando uma superfície refletora conhecida como o *tapetum lucidum* nos felinos e outros animais de hábitos noturnos. O gato tem uma estrutura de quinze camadas que mostra uma luz verde metálica em condições favoráveis. Diferenças nas estruturas geram reflexão de outras cores. No cachorro, a luz refletida é amarela.

- Em plantas é mais raro haver cor estrutural. Encontra-se em musgos, algas. Um belo exemplar é o fruto da *Pollia condensata* - "marble berry" .

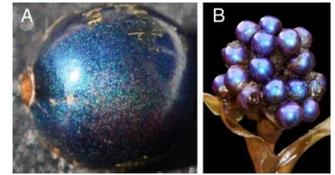


Figura 11 – Cor estrutural em na fruta da *Pollia condensata* – "marble berry".

- O índice de refração afeta na cor estrutural. Robert Hooke (cientista britânico , 1635-1703), um dos pioneiros no estudo de cor estrutural, percebeu que a coloração da pena de pavão muda quando imersa na água.

- Efeito lótus. As estruturas nanométricas nas superfícies geradoras da interferência da luz são hidrofóbicas, ou seja, tem um efeito impermeabilizante. As gotas de água não são absorvidas pela superfície.

- Difração

A cor estrutural por difração é mais rara na natureza. Diferencia-se por ser produzida somente por luz direta. As cores por difração desaparecem quando a luz incidente for difusa.

- Espalhamento Rayleigh

A luz é espalhada por vesículas de ar nos tecidos ou partículas de gordura, proteína queratina ou cristais de guanina de dimensões próximas ao comprimento de onda da luz, sobre uma camada escura, em geral de melanina. As cores mais frequentes são:

Azul – (azul de Tyndall) - a luz azul é espalhada e as demais são absorvidas pela camada escura.

Verde – além do espalhamento do azul, a luz amarela é refletida da camada escura ou de uma suave camada amarela.

Roxo – há uma reflexão seletiva suave da luz vermelha junto com o espalhamento do azul.

A pele azulada em macacos resulta do espalhamento na melanina por trás da pele, enquanto o roxo se origina de uma combinação do espalhamento combinado com as reflexões do vermelho na hemoglobina nos vasos sanguíneos próximos da superfície da pele.



Figura 12 – Mandril

Há marcas de nascimento arroxeadas como a mancha mongólica comum em asiáticos, que após a morte se tornam azuis devido à ausência de hemoglobina uma vez que não há mais sangue na superfície da pele.

A pele pálida de pessoas caucasianas, com pele branca e pelo escuro, tem um tom azulado num homem recém barbeado porque a luz azul é espalhada na raiz de uma barba escura próxima à superfície da pele. Essas pessoas também ficam mais pálidas azuladas em dias mais frios porque a circulação do sangue superficial que dá a componente vermelha responsável pela coloração rósea da pele diminui para conservar o calor. O mesmo acontece depois da morte se a pele é mergulhada em água, a estrutura do espalhamento é destruída e a cor azul se torna branca.

O olho azul nos seres humanos e nos animais também é originado pelo espalhamento da luz por partículas na íris que está sobre uma camada de escura de melanina. Os olhos verdes resultam da luz azul espalhada com a reflexão da luz amarela em pigmentos. Olhos castanhos surgem quando a reflexão da luz em pigmentos resultando numa coloração marrom mascara o espalhamento da luz azul. Bebês e filhotes de gatos costumam ter o olho de azul intenso porque a melanina ainda não está formada. Em albinos, os olhos são rosados por haver ausência total de pigmentos e há reflexão da luz na hemoglobina no vasos sanguíneos que encobrem.

Bibliografia comentada:

ASSIS, Odílio B.G. A asa da borboleta e a nanotecnologia: cor estrutural. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, 2301 (2013). <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/352301.pdf> [O melhor texto em português. Enfoca a asa da borboleta.]

GOMIS-BRESCO, J.; VIOSCA, J. Cor estrutural: pavões, Romanos e Robert Hooke. Science in School. The European Journal for Science Teachers. <http://www.scienceinschool.org/pt/content/t%C3%ADtulo-cor-estrutural-pav%C3%B5es-romanos-e-robert-hooke> [Essa publicação tem participação do CERN, ESA e outras instituições de pesquisa europeias. O texto enfoca cor estrutural por interferência num linguagem mais acessível para o público escolar.]

KINOSHITA, S.; YOSHIOKA, S. Effect of Macroscopic Structure in Iridescent Color of the Peacock Feathers. Graduate School of Frontier Biosciences, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan. Forma, 17, 169–181, 2002. [Aprofundamento sobre as penas do pavão. Esses dois pesquisadores são especializados em cor estrutural.]

NASSAU, Kurt. The Physics and Chemistry of Color: The Fifteen Causes of Color, Wiley & Sons, New York, 2001. [Excelente, completo. Há muito detalhamento da química.]

Fontes das imagens:

<http://australianmuseum.net.au/image/king-beetle-detail>

http://fazendavisconde.com.br/images/Pavao_Azul_Pavo_cristatus_Fazenda_Visconde_4.jpg

<http://followthecolours.com.br/art-attack/penas-de-pavao-vistas-sob-o-microscopio-revelam-cores-e-detalhes-magnificos/>

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.200390235/full>

http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/6/Suppl_2/S203

<http://sites.sinauer.com/animalcommunication2e/chapter04.03.html>

<https://www.flickr.com/photos/13084997@N03/28350427993/>