

APÊNDICE A

Produto educacional

Elaborando um jogo de tabuleiro envolvendo os conceitos estudados no ciclo de uma estrela. A construção da trilha terá perguntas sobre nebulosas, o sistema solar, o Sol, a evolução de uma estrela como o Sol e outras maiores que ele, e ciclo final da estrela. Além disso será abordado outros tópicos, como por exemplo, supernova, buraco negro, estrela anã branca.

JOGO – TRILHA SOLAR

Número de jogadores:

2 a 4 jogadores.

Material:

Um tabuleiro (modelo anexo);

Um dado;

1 peça de cor diferente para cada jogador (botão, tampinhas, entre outros);

24 cartões com perguntas sobre nebulosas, sistema solar, sol e ciclo de uma estrela.

Dos 24 cartões temos:

6 cartões azuis

6 amarelos

6 vermelhos

6 brancos.

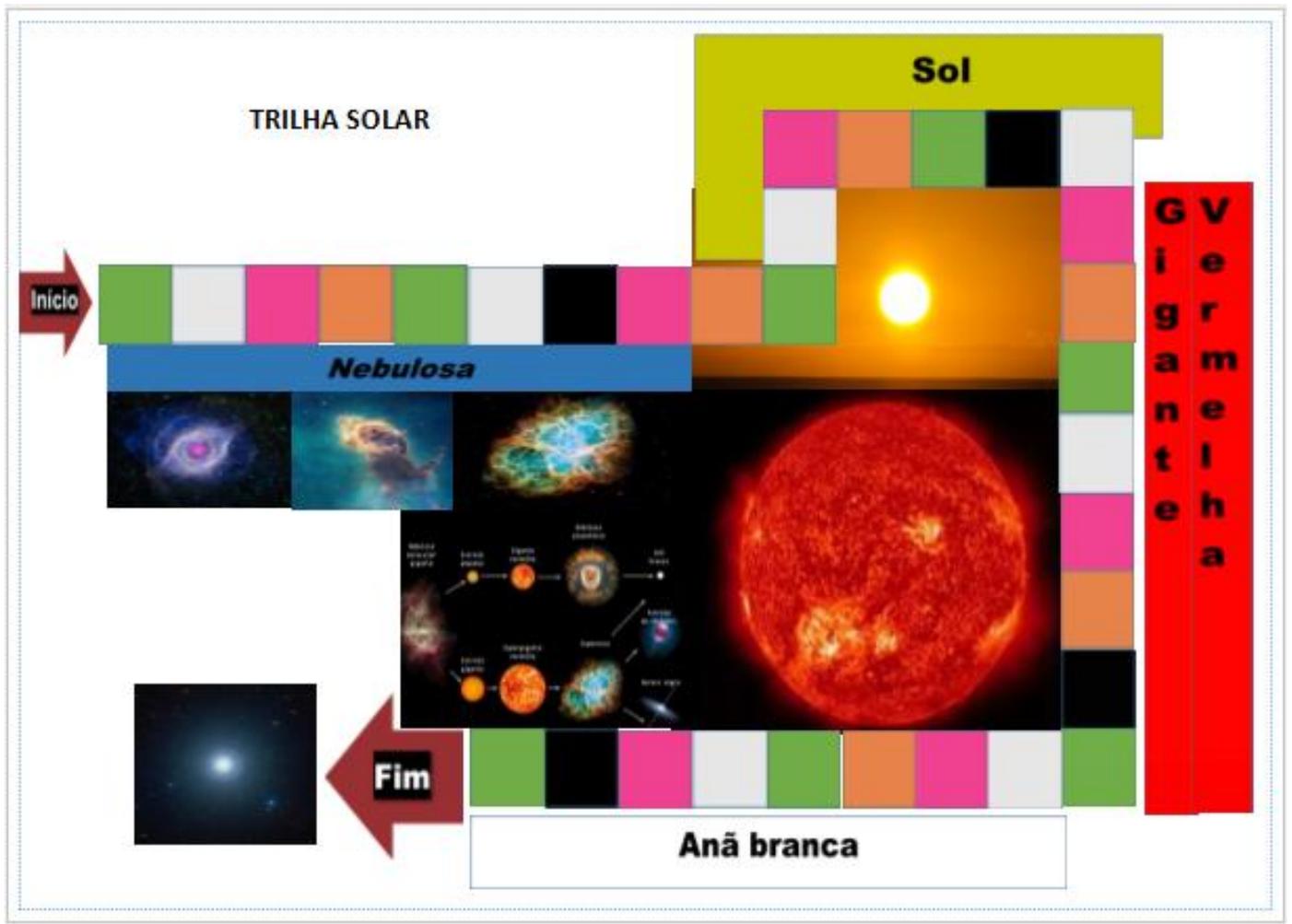
A trilha tem quatro trechos de cores: azul, amarela, vermelha e branca. Ao longo do percurso da trilha é composto por quadrados de cores verde, cinza, laranja e rosa, nessa ordem. Cada trecho ainda tem um quadrado preto.

O trecho azul foi dedicado ao ciclo inicial da estrela, está relacionado as nebulosas.

O trecho amarelo foi direcionado ao Sol, está relacionado ao estudo do Sol, sistema solar.

O trecho vermelho foi preparado ao processo de gigante vermelha que o Sol passará no seu ciclo evolutivo, podemos relacionar ainda sobre nebulosas, tamanho da estrela, supernova etc.

O trecho branco é a reta final do jogo e está relacionado no ciclo final da estrela, está relacionado a anã branca, estrela de nêutrons, buraco negro e nebulosa planetária.



Tabuleiro do jogo – Trilha solar

Modo de jogar:

Os cartões ficam na mesa com a face para cima (em 4 pilhas de cartões de acordo com a cor azul, amarela, vermelha e branca);

Os jogadores lançam o dado (um de cada vez). Começa o jogador que tirou a maior quantidade;

Se acerta permanece na posição, caso contrário, retorna a posição anterior. Se a peça do participante cair no quadrado preto, não tem pergunta e retorna a posição que ocupava.

Ganha o jogador que chegar ao fim da trilha. Caso se determina uma quantidade de rodada de dado, o ganhador será o participante que estiver mais próximo do fim da trilha.

O primeiro jogador lança o dado e anda as casas, de acordo com o número indicado no dado. Faz a pergunta de acordo com trecho (azul, amarela, vermelha ou branca) e a cor do quadrado onde está a sua peça.

Para elaborar os cartões foram necessários selecionar algumas perguntas sobre o tema estudado e sua respectiva resposta para imprimir um cartão com perguntas e no verso as respectivas respostas.

Os cartões do trecho azul ficaram dessa forma:

PERGUNTAS	RESPOSTAS
 Como é chamado popularmente berçário de estrelas, buraco negro, galáxia ou nebulosa?	 Nebulosa.
 As nuvens moleculares de hidrogênio, poeira, plasma e outros gases ionizado são chamadas de supernova, nebulosa ou buraco negro?	 Nebulosa.
 A nebulosa de Helix lembra que figura, um cavalo, um olho ou carangueijo?	 Olho.
 As estrelas se formam nas nebulosas. Verdadeiro ou Falso?	 Verdadeiro.

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>Quantos planetas constituem o Sistema Solar, 7, 8 ou 9?</p>	Oito.
<p>Qual o quinto planeta do Sistema Solar a contar a partir do Sol? Marte, Júpiter ou Saturno?</p>	Júpiter.
<p>Qual é oitavo planeta do Sistema Solar a contar a partir do Sol? Saturno, Urano ou Netuno?</p>	Netuno.
<p>A Via Láctea é uma galáxia em forma de disco em espiral onde o Sol se encontra no centro. Verdadeiro ou falso?</p>	Falso.

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>Os astrônomos utilizam a unidade ano-luz nas suas atividades de pesquisa. Essa unidade é utilizada para medir velocidade, distância ou tempo?</p>	Distância
<p>Qual é o elemento com aproximadamente com 90% de abundância cósmica? Oxigênio, hidrogênio ou Hélio?</p>	Hidrogênio
<p>Qual o nome da Galáxia onde podemos encontrar o Sistema Solar? Andrômeda, Via Láctea ou Nuvem de Magalhães?</p>	Via Láctea
<p>Qual o sistema planetário a que pertence o planeta Terra é Via Láctea, Sistema Solar ou Andrômeda?</p>	Sistema Solar

PERGUNTAS

-  Qual é o chamado o objeto originado após a morte de uma estrela de dimensões gigantescas? Gigante vermelha, anã branca ou buraco negro?
-  O que o Sol na fase final da sua vida dará origem? Nebulosa planetária ou supernova?
-  Uma estrela de nêutrons é originada pela morte de uma estrela com massa superior a 8 massas solares, mas menos que 25 massas solares. Verdadeiro ou falso?
-  As estrelas passam a maior parte da sua vida na Sequência principal, Gigante vermelha ou Supernova?

RESPOSTAS

-  Buraco negro.
-  Nebulosa planetária
-  Verdadeiro.
-  Sequência principal.

PERGUNTAS

-  Como é chamada a nuvem de matéria estelar expelida na fase final da evolução de uma estrela de pequena massa? Nebulosa planetária ou supernova?
-  Como é denominado o objeto extremamente denso e com gravidade tão intensa que nem a própria luz consegue escapar, supernova ou buraco negro?
-  Uma supernova é uma explosão muito violenta que ocorre nas estrelas de grande massa no final da sua evolução. Verdadeiro ou falso?
-  Como são chamadas as aglomerações de gases ionizados, hidrogênio, hélio, poeira cósmica e plasma nebulosa ou anã branca?

RESPOSTAS

-  Nebulosa planetária.
-  Buraco negro.
-  Verdadeiro.
-  Nebulosa.

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> As estrelas até oito massas solares na fase final da sua vida serão supernovas ou gigantes vermelhas?</p>	<p> Gigantes vermelhas</p>
<p> Qual é a cor das estrelas de maior massa do que o Sol na fase de sequência principal vermelha, azul ou branca?</p>	<p> Azul.</p>
<p> Como é chamada a explosão muito violenta que ocorre na fase final da evolução estelar de estrelas de grande massa? Gigante vermelha, anã branca ou supernova?</p>	<p> Supernova.</p>
<p> As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes nas gigantes vermelhas ou nebulosas?</p>	<p> Nebulosas.</p>

Os cartões do trecho amarelo ficaram dessa forma:

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> O Sol na fase final da sua vida dará origem a: a) um buraco negro b) Uma Anã branca e a uma nebulosa planetária c) uma supernova</p>	<p> b) Uma Anã branca e a uma nebulosa planetária.</p>
<p> Qual é estrela mais próxima da Terra: Sol, próxima Centauri ou Sirius?</p>	<p> Sol.</p>
<p> Qual é estrela mais próxima da Terra depois do Sol: Rigel, próxima Centauri ou Sirius?</p>	<p> Proxima Centauri</p>
<p> Na faixa da região habitável estão inseridos os planetas: Vênus e Terra ou Terra e Marte?</p>	<p> Terra e Marte;</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>O que representa Unidade Astronômica? É a distância da Terra para o Sol ou a distância da Terra a Lua?</p>	<p>É a distância da Terra para o Sol.</p>
<p>Qual é o valor aproximado da distância da Terra para o Sol em quilômetros? 150 mil ou 150 milhões?</p>	<p>150 milhões.</p>
<p>Quantos planetas igual a Terra caberiam dentro do Sol? 100 mil ou um milhão?</p>	<p>Um milhão.</p>
<p>Quantos planetas igual a Júpiter caberiam dentro do Sol? 10, 100 ou 1000?</p>	<p>1000.</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>Considere o Sol como uma bola de basquete. Nesse caso a Terra seria como uma pequena bola de gude, tênis ou futebol de campo?</p>	<p>Uma pequena bola de gude.</p>
<p>Considere o Sol como uma bola de basquete. Nesse caso a Terra seria como uma pequena bola de gude, tênis ou futebol de campo?</p>	<p>Uma bola de tênis.</p>
<p>Qual é a distância da Terra para a estrela Próxima Centauri, aproximadamente em anos-luz, menos de 4 anos ou mais de 4 anos?</p>	<p>Mais de 4 anos-luz. (4,2 anos-luz).</p>
<p>Aproximadamente, Quanto tempo a luz solar completa o trajeto Sol -Terra, 8, 10 ou 15 minutos?</p>	<p>8 minutos.</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>Quanto tempo, a luz da estrela Proxima Centauri completa o trajeto Proxima Centauri Terra? 3,4 ou 4,2 anos?</p>	4,2 anos.
<p>Se VY Canis Majoris ocupasse o lugar do nosso Sol no Sistema Solar, esta estrela gigante, tomaria o lugar de todos os planetas juntos com Marte, Júpiter ou Saturno?</p>	Saturno.
<p>Qual é a temperatura, aproximada, do núcleo solar, 10, 12 ou 15 milhões de Kelvin?</p>	15 milhões de Kelvin.
<p>As estrelas produzem a sua energia através de reações químicas, de fissão nuclear ou de fusão nuclear?</p>	Fusão nuclear

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>Qual é a região do Sol onde a energia é produzida, por reações termonucleares, núcleo ou fotosfera?</p>	Núcleo.
<p>Qual é a temperatura, aproximada, da fotosfera solar, 4000, 5000 ou 6000 Kelvin?</p>	6000 Kelvin.
<p>Qual é a camada visível do Sol, Cromosfera, fotosfera ou zona convectiva?</p>	Fotosfera.
<p>Em estrelas como o Sol a fusão nuclear ocorre mediante o chamado ciclo pp (próton-próton) ou ciclo CNO (carbono, nitrogênio e oxigênio)?</p>	Ciclo pp (próton-próton)

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> No ciclo próton-próton ocorre a fusão do hidrogênio em hélio ou hélio em carbono?</p>	<p> A fusão do hidrogênio em hélio.</p>
<p> Qual é o tempo de vida estimado para o Sol 8, 10 ou 12 bilhões de anos?</p>	<p> 12 bilhões de anos.</p>
<p> A radiação solar é o fluxo de energia emitida pelo Sol, ela é transmitida sob a forma de convecção ou radiação eletromagnética?</p>	<p> Radiação eletromagnética.</p>
<p> As estrelas mais quentes são de cor azul, amarela ou vermelha?</p>	<p> Azul.</p>

Os cartões do trecho vermelho ficaram dessa forma:

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> O Sol após consumir todo o seu hidrogênio se transformará numa estrela gigante azul, laranja ou vermelha?</p>	<p> Vermelha.</p>
<p> O Sol na fase final da sua vida dará origem a um buraco negro, verdadeiro ou falso?</p>	<p> Falso.</p>
<p> As estrelas de massa superior a oito vezes a massa do Sol morrem em grandes explosões chamadas de: Big Bang, supernovas ou nebulosas?</p>	<p> Supernovas.</p>
<p> No processo de gigante vermelha a zona habitável sofrerá alguma alteração? Sim ou não?</p>	<p> Sim.</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> A gigante vermelha irá incinerar o planeta Mercúrio. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> A sequência principal é etapa mais longa ou mais curta da vida da estrela?</p>	<p> Mais longa.</p>
<p> Quanto maior a massa, mais quente, mais azul e mais luminosa será a estrela, e menor será o seu tempo de vida. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> Uma estrela vermelha é mais fria que uma estrela azul. Verdadeiro ou Falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> As estrelas são agrupadas em faixas de temperatura que vão desde as estrelas quentes e azuis até estrelas vermelhas e frias. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> Quando o Sol se tornar uma gigante vermelha seu raio irá incorporar as orbitas de Mercúrio e Marte. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Falso.</p>
<p> As estrelas são agrupadas em faixas de temperatura que vão desde as estrelas quentes e vermelhas até estrelas azuis e frias. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Falso.</p>
<p> Com a expansão das camadas externas do Sol a zona habitável se afastará e ficará próximo a Júpiter até Saturno. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>A temperatura superficial de uma gigante vermelha é relativamente baixa, geralmente não passando dos 5.000 K. Verdadeiro ou falso?</p>	Verdadeiro.
<p>Uma estrela que tem uma massa maior e tem maior quantidade de hidrogênio vive mais tempo. Verdadeiro ou falso?</p>	Verdadeiro.
<p>A temperatura superficial de uma gigante vermelha é relativamente alta, geralmente passando dos 5.000 K. Verdadeiro ou falso?</p>	Falso.
<p>Quando o Sol se tornar uma gigante vermelha seu raio irá incorporar as orbitas de Mercúrio e Vênus.</p>	Verdadeiro.

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p>Durante a primeira fase de estrela gigante vermelha, o Sol vai ter esgotado no seu núcleo hidrogênio ou hélio?</p>	Hidrogênio.
<p>O Sol passará cerca de 10 bilhões de anos consumindo seu hidrogênio é o que chamamos supernova ou sequência principal?</p>	Sequência principal.
<p>O Sol passará cerca de 10 bilhões de anos na sequência principal através da fusão termonuclear transformando hidrogênio em hélio. Verdadeiro ou falso?</p>	Verdadeiro.
<p>A medida que consome o hidrogênio, o Sol nesse estágio cresce em luminosidade. Verdadeiro ou falso?</p>	Verdadeiro.

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> As estrelas gigante vermelhas são estrelas muito grandes e não muito quentes na sua superfície. Elas resultam da expansão de estrelas quando as reações nucleares começam a ocorrer mais próximo à superfície dessas estrelas. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> Uma estrela que tem uma luminosidade maior, perde mais energia e vive menos tempo. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> Em relação ao Sol o que é que aparece primeiro: gigante vermelha, anã branca ou supernova?</p>	<p> Gigante vermelha</p>
<p> O Sol poderá se transformar numa supernova. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Falso.</p>

Os cartões do trecho branco ficaram dessa forma:

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> Quando o Sol se transformará numa estrela gigante vermelha após esgotar a fusão do hidrogênio em hélio. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> O Sol está mais ou menos a metade de sua sequência principal. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> O Sol se tornará uma gigante vermelha, crescendo absurdamente e queimando os planetas mercúrio, Vênus e a Terra. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> O tempo gasto por uma estrela como uma gigante vermelha deve ser mais curto ou mais longo do que o período que ela gasta na sequência principal?</p>	<p> Mais curto.</p>

PERGUNTAS

-  As estrelas com mais de 8 massas do Sol encerram seus ciclos com espetaculares explosões. Verdadeiro ou falso?
-  O Sol, após a fase de gigante vermelha se transformará em uma nebulosa planetária e uma anã branca. Verdadeiro ou falso?
-  Uma imensa nuvem difusa e fria é chamada de supernova, nebulosa planetária ou anã branca?
-  um pequeno corpo celeste composto por um núcleo de carbono e ainda algum hélio e hidrogênio em fusão na crosta é a chamada de estrela de Nêutrons, anã branca ou buraco negro?

RESPOSTAS

-  Verdadeiro.
-  Verdadeiro.
-  Nebulosa planetária.
-  Anã branca.

PERGUNTAS

-  As estrelas de massa inicial menor do que 8 massas solares produzem nebulosas planetárias. Verdadeiro ou falso?
-  Estrelas com massa de massa inicial maior do que 8 massas solares produzem supernovas. Verdadeiro ou falso?
-  Nas nebulosas planetárias e supernovas, os elementos químicos gerados nas estrelas são expulsos para o espaço; enriquecem a próxima geração de estrelas. Verdadeiro ou falso?
-  O produto final de uma estrela depende de sua massa inicial, assim com massa inicial inferior a 8 massas do Sol se transformará numa anã branca. Verdadeiro ou falso?

RESPOSTAS

-  Verdadeiro.
-  Verdadeiro.
-  Verdadeiro.
-  Verdadeiro.

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> O produto final de uma estrela depende de sua massa inicial, assim com massa entre 8 e 20 massas solares se transformará numa estrela de nêutrons. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> O produto final de uma estrela depende de sua massa inicial, assim com massa inicial inferior a 20 massas solares se transformará num buraco negro. Verdadeiro ou falso?</p>	<p> Falso.</p>
<p> Uma estrela gigante vermelha é de baixa temperatura e alta luminosidade. Verdadeiro ou Falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> Uma estrela gigante vermelha é de baixa temperatura e baixa luminosidade. Verdadeiro ou Falso?</p>	<p> Falso.</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
<p> Dependendo da quantidade de matéria, uma estrela na fase de supernova, originada de uma gigante vermelha, transforma-se em uma estrela de nêutrons ou em um buraco negro. Verdadeiro ou Falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> A estrela de nêutrons e o buraco negro são sobra após a explosão de uma supernova. Verdadeiro ou Falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>
<p> Uma anã branca é uma estrela que se encontra numa fase inicial da evolução estelar. Verdadeiro ou Falso?</p>	<p> Falso.</p>
<p> Quanto menor a frequência do espectro visível maior é o comprimento de onda. Verdadeiro ou Falso?</p>	<p> Verdadeiro.</p>

PERGUNTAS	RESPOSTAS
 A densidade de uma anã branca é muito elevada, uma anã branca de uma massa solar tem um raio de aproximadamente a da Terra. Verdadeiro ou Falso?	 Verdadeiro.
 Massa de uma anã branca jamais ultrapassa 1,4 massas solares. Verdadeiro ou Falso?	 Verdadeiro.
 Uma gigante vermelha é uma estrela que se encontra numa fase inicial da evolução estelar. Verdadeiro ou Falso?	 Falso.
 Se a massa que sobra após a explosão de supernova for maior do que 3 massas solares, o que pode acontecer se a estrela inicialmente tinha uma maior do que 25 massas solares, então ela dará origem a um buraco negro, anã branca ou a uma estrela de nêutrons?	 Buraco negro.

Para construir os cartões é necessário um banco de dados, ou seja, com perguntas e respostas sobre os temas abordados. Para isso fiz para cada trecho da trilha um conjunto de 24 perguntas com as respectivas respostas, totalizando em 96 perguntas. O percurso da trilha é por cores verde, cinza, laranja e rosa. Todo trecho tem no percurso da trilha um quadrado preto, esse não tem pergunta, o participante do jogo retorna para casa que ocupava antes de jogar o dado.

Faixa Azul

25. Como é chamado popularmente berçário de estrelas, buraco negro, galáxia ou nebulosa?

Nebulosa.

26. As nuvens moleculares de hidrogênio, poeira, plasma e outros gases ionizado são chamadas de supernova, nebulosa ou buraco negro?

Nebulosa.

27. A nebulosa de Helix lembra que figura, um cavalo, um olho ou caranguejo?

Um olho.

28. As estrelas se formam nas nebulosas. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

29. Os astrônomos utilizam a unidade ano-luz nas suas atividades de pesquisa. Essa unidade é utilizada para medir velocidade, distância ou tempo?

Distância

30. Qual é o elemento com aproximadamente com 90% de abundância cósmica? Oxigênio, hidrogênio ou Hélio?

Hidrogênio

31. Qual o nome da Galáxia onde podemos encontrar o Sistema Solar? Andrômeda, Via Láctea ou Nuvem de Magalhães?

Via Láctea

32. Qual o sistema planetário a que pertence o planeta Terra?

Sistema Solar

33. Quantos planetas constituem o Sistema Solar, 7, 8 ou 9?

Oito. Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno.

34. Qual o quinto planeta do Sistema Solar a contar a partir do Sol? Marte, Júpiter ou Saturno?

Júpiter.

35. Qual é oitavo planeta do Sistema Solar a contar a partir do Sol? Saturno, Urano ou Netuno?

Netuno.

36. A Via Láctea é uma galáxia em forma de disco em espiral onde o Sol se encontra no centro. Verdadeiro ou falso?

Falso.

37. Qual é o chamado o objeto originado após a morte de uma estrela de dimensões gigantescas? Gigante vermelha, anã branca ou buraco negro?

Buraco negro.

38. O que o Sol na fase final da sua vida dará origem?

Uma Anã branca e a uma nebulosa planetária

39. Uma estrela de nêutrons é originada pela morte de uma estrela com massa superior a 8 massas solares, mas menos que 25 massas solares. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

40. As estrelas passam a maior parte da sua vida na Sequência principal, Gigante vermelha ou Supernova?

Sequência principal

41. As estrelas até oito massas solares na fase final da sua vida serão: Supergigantes vermelhas, Gigantes vermelhas ou Supernovas?

Gigantes vermelhas

42. Qual é a cor das estrelas de maior massa do que o Sol na fase de sequência principal vermelha, azul ou branca?

Azul.

43. Como é chamada a explosão muito violenta que ocorre na fase final da evolução estelar de estrelas de grande massa? Gigante vermelha, anã branca ou supernova?

Supernova

44. As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes nas: a) Gigantes vermelhas **b) Nebulosas** c) Nuvens interestelares

45. Como é chamada a nuvem de matéria estelar expelida na fase final da evolução de uma estrela de pequena massa? Nebulosa planetária, supernova ou buraco negro?

Nebulosa planetária.

46. Como é denominado o objeto extremamente denso e com gravidade tão intensa que nem a própria luz consegue escapar? Nebulosa planetária, supernova ou buraco negro?

Buraco negro.

47. Uma supernova é uma explosão muito violenta que ocorre nas estrelas de grande massa no final da sua evolução. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

48. Como são chamadas as aglomerações de gases ionizados, hidrogênio, hélio, poeira cósmica e plasma? Gigante vermelha, anã branca ou nebulosa?

Nebulosa.

Faixa Amarela

1. O Sol na fase final da sua vida dará origem a:

a) um buraco negro

b) Uma Anã branca e a uma nebulosa planetária

c) uma supernova

2. Qual é estrela mais próxima da Terra: Sol, próxima Centauri ou Sirius?

Sol

3. Qual é estrela mais próxima da Terra depois do Sol: Rigel, próxima Centauri ou Sirius?

Proxima Centauri

4. Na faixa da região habitável estão inseridos os planetas: Vênus e Terra ou Terra e Marte?

Terra e Marte

5. O que representa Unidade astronômica?

É a distância da Terra para o Sol

6. Qual é o valor aproximado da distância da Terra para o Sol em quilômetros?

150 milhões ou $1,5 \times 10^8$ km

7. Quantos planetas iguais a Terra caberia dentro do Sol?

Um milhão.

8. Quantos planetas iguais a Júpiter caberia dentro do Sol?

1000.

9. Considere o Sol como uma bola de basquete. Nesse caso a Terra seria como uma pequena bola de gude, tênis ou futebol de campo?

Uma pequena bola de gude.

10. Considere o Sol como uma bola de basquete. Nesse caso a Terra seria como uma pequena bola de gude, tênis ou futebol de campo?

Uma bola de tênis.

11. Qual é a distância da Terra para a estrela Próxima Centauri, aproximadamente em anos-luz, menos de 4 anos ou mais de 4 anos?

4,2 anos-luz.

12. Quanto tempo, aproximadamente, a luz solar completa o trajeto Sol -Terra, 8, 10 ou 15 minutos?

8 minutos.

13. Quanto tempo, aproximadamente, a luz solar completa o trajeto Proxima Centauri -Terra?

4,2 anos.

14. Se VY Canis Majoris ocupasse o lugar do nosso Sol no Sistema Solar, esta estrela gigante, tomaria o lugar de todos os planetas juntos com Marte, Júpiter ou Saturno?

Saturno.

15. Qual é temperatura, aproximada, do núcleo solar, 10, 12 ou 15 milhões de Kelvin?

15 milhões de Kelvin.

16. As estrelas produzem a sua energia através de reações químicas, de fissão nuclear ou de fusão nuclear?

Fusão nuclear

17. Qual é a região do Sol onde a energia é produzida, por reações termonucleares.

Núcleo.

18. Qual é a temperatura, aproximada, da fotosfera solar, 4000, 5000 ou 6000 Kelvin

6000 Kelvin.

19. Qual é a camada visível do Sol, Cromosfera, fotosfera ou zona convectiva?

Fotosfera.

20. Em estrelas como o Sol a fusão nuclear ocorre mediante o chamado ciclo pp (próton-próton) ou ciclo CNO (carbono, nitrogênio e oxigênio)?

Ciclo pp (próton-próton)

21. No ciclo próton-próton ocorre a fusão do hidrogênio em hélio ou hélio em carbono?

A fusão do hidrogênio em hélio.

22. Qual é o tempo de vida estimado para o Sol 8, 10 ou 12 bilhões de anos?

12 bilhões de anos

23. A radiação solar é o fluxo de energia emitida pelo Sol, ela é transmitida sob a forma de convecção ou radiação eletromagnética?

Radiação eletromagnética

24. As estrelas mais quentes são de cor azul, amarela ou vermelha?

Azul

Faixa Vermelha

1. O Sol após consumir todo o seu hidrogênio se transformará numa estrela gigante azul, laranja ou vermelha?

Vermelha

2. O Sol na fase final da sua vida dará origem a um buraco negro, verdadeiro ou falso?

Falso.

3. As estrelas de massa superior a oito vezes a massa do Sol morrem em grandes explosões chamadas de: Big Bang, supernovas ou nebulosas?

Supernovas

4. No processo de gigante vermelha a zona habitável sofrerá alguma alteração? Sim ou não.

Sim.

5. A gigante vermelha irá incinerar o planeta Mercúrio. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

6. A sequência principal é etapa mais longa ou mais curta da vida da estrela?

Mais longa.

7. Quanto maior a massa, mais quente, mais azul e mais luminosa será a estrela, e menor será o seu tempo de vida. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

8. Uma estrela vermelha é mais fria que uma estrela azul. Verdadeiro ou Falso?

Verdadeiro.

9. As estrelas são agrupadas em faixas de temperatura (ou tipos espectrais) que vão desde as estrelas quentes e azuis, conhecidas como estrelas O, até estrelas vermelhas e frias, as chamadas estrelas M. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

10. As estrelas gigantes vermelhas são estrelas muito grandes e não muito quentes na sua superfície. Elas resultam da expansão de estrelas quando as reações nucleares começam a ocorrer mais próximo à superfície dessas estrelas. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

11. As estrelas são agrupadas em faixas de temperatura (ou tipos espectrais) que vão desde as estrelas quentes e vermelhas, conhecidas como estrelas O, até estrelas azuis e frias, as chamadas estrelas M. Verdadeiro ou falso?

Falso.

12. Com a expansão das camadas externas do Sol a zona habitável se afastará e ficará próximo a Júpiter até Saturno. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro

13. A temperatura superficial de uma gigante vermelha é relativamente baixa, geralmente não passando dos 5.000 K. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro

14. Quando o Sol se tornar uma gigante vermelha seu raio irá incorporar as orbitas de Mercúrio e Marte. Verdadeiro ou falso?

Falso.

15. A temperatura superficial de uma gigante vermelha é relativamente alta, geralmente passando dos 5.000 K. Verdadeiro ou falso?

Falso.

16. Quando o Sol se tornar uma gigante vermelha seu raio irá incorporar as orbitas de Mercúrio e Vênus. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

17. Durante a primeira fase de estrela gigante vermelha, o Sol vai ter esgotado no seu núcleo hidrogênio ou hélio?

Hidrogênio

18. O Sol passará cerca de 10 bilhões de anos consumindo seu hidrogênio é o que chamamos supernova ou sequência principal?

Sequência principal.

19. O Sol passará cerca de 10 bilhões de anos na sequência principal através da fusão termonuclear transformando hidrogênio em hélio. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

20. À medida que consome o hidrogênio, o Sol nesse estágio cresce em luminosidade. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

21. Uma estrela que tem uma massa maior e tem maior quantidade de hidrogênio vive mais tempo. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

22. Uma estrela que tem uma luminosidade maior, perde mais energia e vive menos tempo. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

23. Em relação ao Sol o que é que aparece primeiro: gigante vermelha, anã branca ou supernova?

Gigante vermelha

24. O Sol poderá se transformar numa supernova. Verdadeiro ou falso?

Falso.

Faixa Branca

1. Quando o Sol se transformará numa estrela gigante vermelha após esgotar a fusão do hidrogênio em hélio. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

2. O Sol está mais ou menos a metade de sua sequência principal (período em que a fusão nuclear transforma hidrogênio em hélio). Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

3. O Sol se tornará uma gigante vermelha, crescendo absurdamente e queimando os planetas mercúrio, Vênus e a Terra. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

4. O tempo gasto por uma estrela como uma gigante vermelha deve ser mais curto ou mais longo do que o período que ela gasta na sequência principal?

Mais curto.

5. As estrelas de massa oito vezes maior do que a do Sol encerram seus ciclos com espetaculares explosões? Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

6. Após a fase de gigante vermelha o Sol se transformará em uma nebulosa planetária e uma anã branca ou em uma nebulosa planetária e uma estrela de nêutrons?

Nebulosa planetária e uma anã branca

7. Uma imensa nuvem difusa e fria é chamada de supernova, nebulosa planetária ou anã branca?

Nebulosa planetária.

8. um pequeno corpo celeste composto por um núcleo de carbono e ainda algum hélio e hidrogênio em fusão na crosta é a chamada de estrela de Nêutrons, anã branca ou buraco negro?

Anã branca.

9. As estrelas de massa inicial menor do que 8 massas do Sol produzem nebulosas planetárias. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

10. Estelas com massa de massa inicial maior do que 8 Massas do Sol produzem supernovas. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

11. Nas nebulosas planetárias e supernovas, os elementos químicos gerados nas estrelas são expulsos para o espaço; “enriquecem” a próxima geração de estrelas. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

12. O produto de uma estrela depende de sua massa inicial, assim com massa inicial inferior a 8 massas solares se transformará numa anã branca. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

13. O produto final de uma estrela depende de sua massa inicial, assim com massa entre 8 e 20 massas solares se transformará numa estrela de nêutrons. Verdadeiro ou falso?

Verdadeiro.

14. O produto de uma estrela depende de sua massa inicial, assim com massa inicial inferior a 20 massas solares se transformará num buraco negro. Verdadeiro ou falso?

Falso.

15. Uma estrela gigante vermelha é de baixa temperatura e alta luminosidade. Verdadeiro ou Falso?

Verdadeiro.

16. Uma estrela gigante vermelha é de baixa temperatura e baixa luminosidade. Verdadeiro ou Falso?

Falso.

17. Dependendo da quantidade de matéria, uma estrela na fase de supernova, originada de uma gigante vermelha, transforma-se em uma estrela de nêutrons ou em um buraco negro. Verdadeiro ou Falso?

Verdadeiro.

18. A estrela de nêutrons e o buraco negro são sobra após a explosão de uma supernova. Verdadeiro ou Falso?

Verdadeiro.

19. Se a massa que sobra após a explosão de supernova for maior do que 3 massas solares, o que pode acontecer se a estrela inicialmente tinha uma maior do que 25 massas solares, então ela dará origem a um buraco negro, anã branca ou a uma estrela de nêutrons?

Buraco negro.

20. Quanto menor a frequência do espectro visível maior é o comprimento de onda. Verdadeiro ou Falso?

Verdadeiro.

21. A densidade de uma anã branca é muito elevada, uma anã branca de uma massa solar tem um raio de aproximadamente a da Terra. Verdadeiro ou Falso?

Verdadeiro.

22. Massa de uma anã branca jamais ultrapassa 1,4 massas solares. Verdadeiro ou Falso?

Verdadeiro.

23. Uma gigante vermelha é uma estrela que se encontra numa fase inicial da evolução estelar. Verdadeiro ou Falso?

Falso.

24. Uma anã branca é uma estrela que se encontra numa fase inicial da evolução estelar. Verdadeiro ou Falso?

Falso.

Experimento sobre Radiação de Corpo Negro

A radiação de corpo negro, ou radiação térmica, é a radiação emitida por qualquer corpo a partir de sua energia interna. As características desta radiação dependem apenas da temperatura absoluta do corpo. Um corpo negro ideal absorve toda a radiação incidente. (por isso é negro na temperatura ambiente). Sua refletividade é nula e a emissividade, portanto é $\epsilon = 1$. Segundo a Lei de Kirchhoff “num corpo negro ideal, em equilíbrio termodinâmico a temperatura T , a radiação total emitida deve ser igual à radiação total absorvida”. Este experimento tem, por objetivo, ilustrar a radiação de “corpo negro”, no caso, de duas latas de alumínio pintadas, uma de preto, outra de branco, absorvendo radiação de uma lâmpada de 100W de potência, ligada próxima às latas.

Para o experimento foram utilizadas duas latas de alumínio (de cerveja), pintadas, uma de preto e outra de branco, com tinta têmpera. As latas foram pintadas tanto pelo lado de dentro como de fora. O aparato experimental foi montado da seguinte maneira: uma lâmpada de 100W ligada num suporte em cima de um porta-canetas. A mais ou menos 10 cm de distância da lâmpada, ficava uma caixa com as duas latas em cima, localizadas simetricamente distantes da lâmpada. Um suporte para os termômetros foi feito de forma a localizar o termômetro na mesma posição em relação a lata da seguinte maneira: uma régua com furos onde era possível apoiar o termômetro igualmente dentro de cada uma das latas. Com o cronômetro do celular, foram anotados os valores da temperatura marcada nos termômetros a cada minuto com a lâmpada ligada, conforme tabela 1, a seguir. Após verificar algumas repetições de temperatura, a lâmpada foi desligada, anotando também, os valores de temperatura minuto a minuto, para cada uma das latas. As imagens a seguir mostram a montagem do experimento:



Figura 1: montagem parcial do experimento



Figura 2: suporte do termômetro

Resultados

As mediadas de tempo resultaram na tabela abaixo, cujos valores de temperatura são dados em graus celsius.

Com a lâmpada ligada

Tempo (segundos)	Temperatura (°C)	
	Lata branca	Lata preta
0		
30		
60		
90		
120		

Com a lâmpada ligada

Tempo (segundos)	Temperatura (°C)	
	Lata branca	Lata preta
0		
30		
60		
90		
120		

Conclusões

Apesar de os valores obtidos não serem excelentes devido a imprecisões na medida e principalmente pelo fato de ter sido utilizado um termômetro de mercúrio¹, ao final do experimento foi possível responder, qualitativamente, as questões solicitadas na tarefa:

1. Qual das latas se aquece mais rapidamente?

- a) a lata branca
- b) a lata preta

Claramente que pelos valores medidos que a lata preta aqueceu mais rapidamente.

2. A que aquece mais depressa é também a que esfria mais depressa.

Verdadeiro ou falso?

- a) verdadeiro
- b) falso

Sim, a lata preta também apresentou um resfriamento mais rápido que a lata branca.

3. Qual das afirmações é verdadeira?

- a) a lata branca reflete mais luz, porque por absorver menos energia é absorvida fazendo com que sua temperatura interna aumente menos que a da lata preta.

b) a lata preta reflete mais luz, porque por absorver menos energia é absorvida fazendo com que sua temperatura interna aumente menos que a da lata branca.

Concluimos que a lata branca reflete mais luz, porque por absorver menos (e refletir mais), menos energia é absorvida fazendo com que sua temperatura interna aumente menos que a da lata preta.

4. Qual delas irradia mais luz?

- a) a lata branca
- b) a lata preta
- c) nenhuma das duas latas

Nenhuma das duas irradia luz. A quantidade de energia que absorvem, é suficiente apenas para elevar a temperatura da lata, e após, irradiar em forma de calor.

5. Qual delas transforma mais luz em calor?

- a) a lata branca
- b) a lata preta

Como concluimos que, para um mesmo intervalo de tempo, a lata preta absorveu mais energia, logo, ao desligar a lâmpada ela irá equilibrar a sua temperatura interna com a externa emitindo radiação em forma de calor.

6. O que você acha que ocorre com a luz que incide na lata preta?

- a) a luz é absorvida mais eficientemente que na lata branca, provoca um aumento de temperatura no interior da lata e é emitida em forma de radiação infravermelha após ser desligada a lâmpada.
- b) a luz é absorvida menos eficientemente que na lata branca, provoca uma diminuição de temperatura no interior da lata e é emitida em forma de radiação infravermelha após ser desligada a lâmpada.

Ela é absorvida mais eficientemente que na lata branca, provoca um aumento de temperatura no interior da lata e é emitida em forma de radiação infravermelha após ser desligada a lâmpada.

7. O que você acha que acontece com a grande parte da energia que a Terra recebe do Sol em forma de luz visível?

a) deve acontecer semelhante ao que acontece nas latas, uma boa parte da luz é refletida pelo planeta, enquanto a outra parte é absorvida e utilizada para aumentar e manter a temperatura da Terra agradável.

b) deve acontecer diferentemente ao que acontece nas latas, uma boa parte da luz é refletida pelo planeta, enquanto a outra parte é absorvida e utilizada para aumentar e manter a temperatura da Terra agradável.

Deve acontecer semelhante ao que acontece nas latas, uma boa parte da luz é refletida pelo planeta, enquanto a outra parte é absorvida e utilizada para aumentar e manter a temperatura da Terra agradável.

Corpo Negro

O estudo do corpo negro nos ajuda a entender as estrelas.

Objetivos ao estudar o corpo negro:

Aplicar as propriedades do corpo negro para deduzir temperaturas, raios e luminosidades das estrelas;

Relacionar o fluxo na superfície de um corpo negro com a temperatura do corpo, pela Lei de Stefan-Boltzmann;

Relacionar o comprimento de onda em que o corpo negro tem o pico da radiação com a sua temperatura, segundo a Lei de Wien.

Teoria da Radiação

No final do XIX os físicos encontraram um problema: como descrever matematicamente como um corpo aquecido irradia energia, isto é, quanto ele emite em cada comprimento de onda. Para abordar o problema, começaram por examinar um caso teórico simplificado, **o corpo negro**, definido por Gustav Robert Kirchhoff (1824- 1887), como um objeto que absorve toda a luz que incide sobre ele, sem refletir nada da radiação incidente. Um corpo com essa propriedade, em princípio, não pode ser visto e, portanto, é negro. Para tal corpo estar em equilíbrio termodinâmico, ele deve irradiar energia na mesma taxa em que a absorve, do contrário ele esquentaria ou esfriaria, e sua

temperatura variaria. Portanto, um corpo negro, além de ser um *absorção perfeito*, é também um *emissor perfeito*. Desde então muitos experimentos tentaram medir seu espectro, isto é, como sua intensidade varia com a frequência (ou com o comprimento de onda).

Gustav Robert Kirchhoff, juntamente com Robert Bunsen, é considerado o fundador da análise espectral e influenciou significativamente o desenvolvimento da física teórica na Alemanha.



<https://www3.unicentro.br/petfisica/2016/05/15/gustav-robert-kirchhoff/> acesso em 10 de outubro de 2019

Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen (1811 – 1899) foi um químico alemão que é lembrado principalmente por ter aperfeiçoado um queimador que é conhecido atualmente como bico de Bunsen. por volta de 1859 observou que cada elemento emite uma luz. comprimento de onda característico. Tais estudos abriram o campo da análise de espectro, que se tornou de grande importância no estudo do Sol e das estrelas.



<https://www.britannica.com/biography/Robert-Bunsen> acesso em 10 de outubro de 2019

Gustav Robert Kirchhoff (a esquerda) e Robert Wilhelm Eberhard Bunsen.



<https://www.sciencehistory.org/historical-profile/robert-bunsen-and-gustav-kirchhoff> acesso em 10 de outubro de 2019

O físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858 – 1947) em 1900 postulou que radiação eletromagnética é emitida de forma descontínua, em pequenos “pacotes” de energia, chamados *quanta* cada um com energia proporcional à sua frequência. Matematicamente descrita assim:

$$E = h \cdot \nu$$

Onde temos:

E é a energia

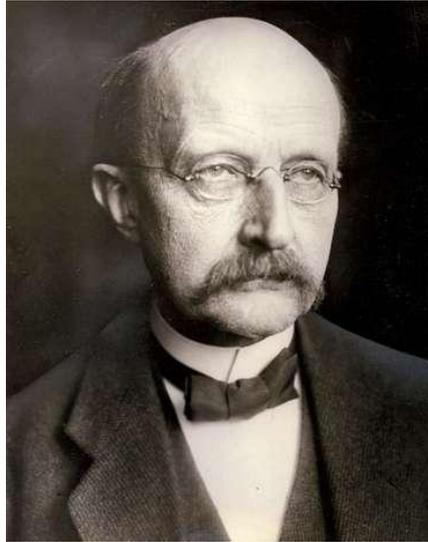
h é a constante de Planck

ν é a frequência

O valor da constante de Planck (h) é $6,626 \times 10^{-27}$ ergs•s = $6,626 \times 10^{-34}$ J•s

Podemos escrever também em relação ao comprimento de onda (λ) e a velocidade da luz (c):

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



<https://www.britannica.com/biography/Max-Planck> acesso em 10 de outubro de 2019

A lei de Planck

Com a quantização da energia Max Planck deduziu teoricamente a intensidade de um campo de radiação. A intensidade específica monocromática (energia por unidade de comprimento de onda, por segundo, por unidade de área, e por unidade de ângulo sólido) de um corpo que tem uma temperatura uniforme T e está em equilíbrio termodinâmico com seu próprio campo de radiação (o que significa que é opaco), e denominada como lei de Planck.

A Lei de Planck é descrita matematicamente por:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Onde temos:

$B_{\lambda}(T)$ é a intensidade específica monocromática do corpo negro de temperatura T

c é a velocidade da luz

h é a constante de Planck

$k = 1,38 \times 10^{-16}$ ergs/K é a constante de Boltzmann.

Essa constante é em homenagem ao físico austríaco Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906).



<https://www3.unicentro.br/petfisica/2016/02/26/ludwing-eduard-boltzmann-1844-1906/> acesso em 10 de outubro de 2019

Para escrever a lei de Planck em termos de frequência, precisamos usar a seguinte relação:

$$\frac{d\nu}{d\lambda} = -\frac{c}{\lambda^2}$$

Obtendo:

$$B_\nu = B_\lambda \frac{\lambda^2}{c}$$

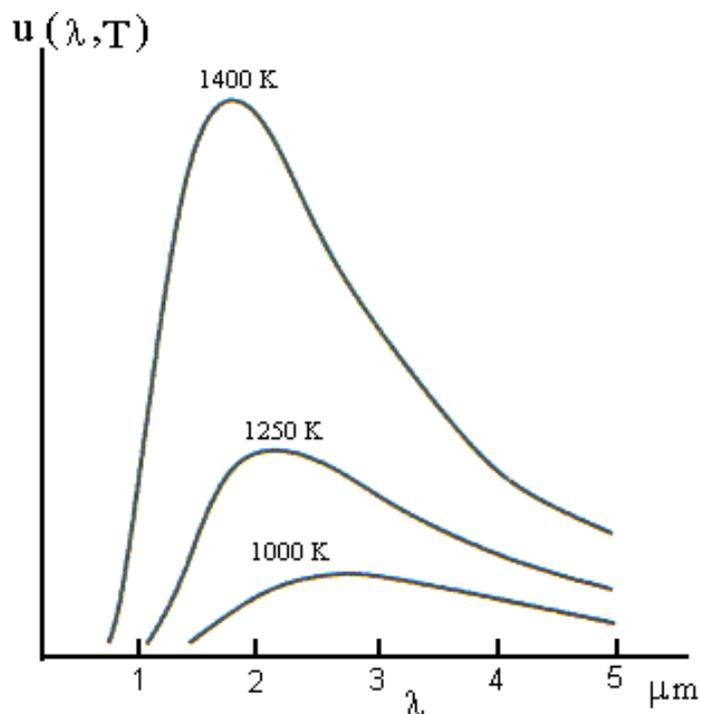
ou

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Para qualquer corpo em equilíbrio termodinâmico emitirá fótons com uma distribuição de comprimentos de onda dada pela Lei de Planck. Esta

radiação é chamada de *radiação de corpo negro*, ou *radiação térmica*, pois depende unicamente da temperatura do corpo.

Gráfico da radiação do corpo negro

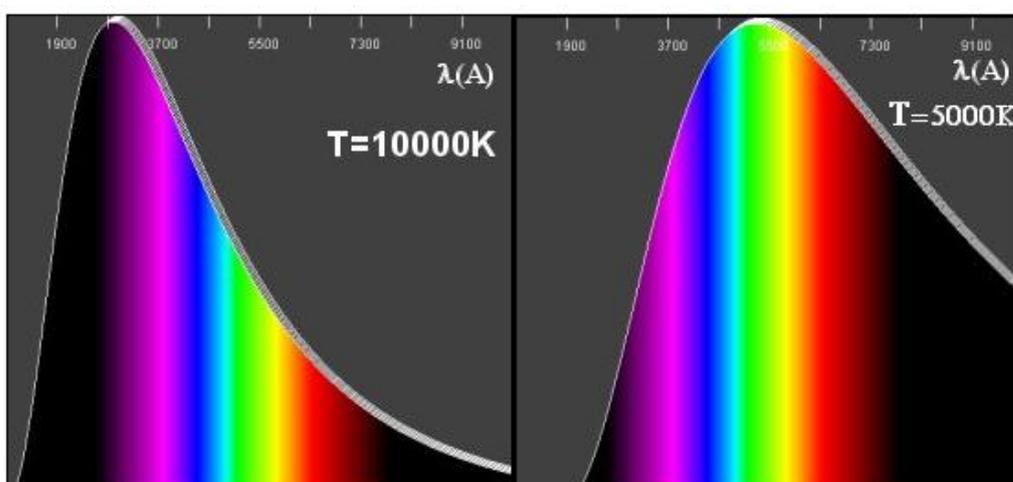


<http://ensinoadistancia.pro.br/ead/fisica-4/aulas/Aula-18/aula-18.html> acesso em 10 de outubro de 2019

Curvas da Lei de Planck (radiação de corpo negro) para corpos com diferentes temperaturas mostra que a intensidade em todos os comprimentos de onda aumenta fortemente com o aumento da temperatura, e o pico de intensidade máxima se desloca para comprimentos de onda menores com o aumento da temperatura. O gráfico mostra que a potência irradiada por um corpo negro em função do comprimento de onda para três temperaturas diferentes. Os resultados experimentais relacionados ao espectro de emissão não foram entendidos na época e conseqüentemente não se tinha modelos teóricos para a sua descrição.

Lei de Wien

O comprimento de onda em que um corpo negro emite com intensidade máxima (λ_{MAX}) é inversamente proporcional à temperatura absoluta (T), ou seja, $\lambda_{MAX} \propto 1/T$.



<http://astro.if.ufrgs.br/rad/rad/rad.htm#wien> acesso em 10 de outubro de 2019

O máximo (e o mínimo) de qualquer função é dado para o ponto em que a derivada é nula. Esta função não tem mínimo, de modo que não precisamos testar se a derivada de segunda ordem é negativa (máximo). Derivando a Lei de Planck $B_\lambda(T)$ e igualando a derivada a zero.

Após a realizações dos cálculos obtemos $\lambda_{max}T = 0,0028978 \text{ K m}$ (T em kelvin, λ em metros) ou $\lambda_{max}T = 2,8978 \times 10^7 \text{ K \AA}$ (T em kelvin, λ em angstroms).

A relação encontrada empiricamente por Wien em 1893, mostra que, à medida que T aumenta, a frequência máxima (ν_{max}) aumenta, ou o comprimento de onda máximo (λ_{max}) diminui. Assim, dessa forma, se explica

porque quando se aquece uma barra de ferro, ela torna-se primeiro vermelha e depois esverdeada e azulada.

Wilhelm Carl Werner Otto Fritz Franz Wien (1864 – 1928) foi um físico alemão que, em 1893, usou as teorias sobre o calor e eletromagnetismo para deduzir a lei do deslocamento de Wien, que calcula a emissão de um corpo negro a qualquer temperatura a partir da emissão em qualquer uma temperatura de referência.



<https://www.britannica.com/search?query=Wien> acesso em 10 de outubro de 2019

Lei de Stefan-Boltzmann

Joseph Stefan (1835 – 1893) foi um matemático e físico austríaco, e em 1884, seu ex-aluno Boltzmann usou a teoria cinética e a termodinâmica para derivar da lei de Stefan, e mostrou que a mesma era válida exatamente para emissores ideais, que irradiavam perfeitamente em todos os comprimentos de onda, chamados corpos-negros. Dessa forma, tornou-se conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann. Stefan usou a lei para fazer a primeira estimativa satisfatória da temperatura da superfície do Sol (fotosfera), obtendo o valor de 6000 °C.



<http://faculty.randolphcollege.edu/tmichalik/stefan.htm> acesso em 10 de outubro de 2019

Com a realização de experimentos com o corpo negro constatou-se que a radiância da cavidade (u) varia com a quarta potência da temperatura do radiador e que a radiação é tanto maior quanto mais quente for o corpo. Esta relação ficou conhecida como lei de Stefan-Boltzmann, isto é, a energia total que emerge do orifício da cavidade é dada pela integral da curva experimental.

$$F = 2\pi \int_0^{\pi/2} \cos\theta \sin\theta d\theta \int_0^{\infty} B_\nu(T) d\nu = \sigma T^4$$

Onde:

$$F = \sigma T^4$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-5} \text{ ergs cm}^{-2}$$

$$\text{K}^{-4} \text{ s}^{-1} = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$

A letra grega σ é a constante de Stefan-Boltzmann.

Como uma estrela não é um corpo negro, isto é, suas camadas externas de onde provém a radiação não estão exatamente em equilíbrio térmico, escrevemos para o fluxo da estrela:

$$F \equiv \sigma T_{\text{ef}}^4$$

Utilizando um parâmetro chamado temperatura efetiva (T_{ef}). Portanto, para uma estrela esférica de raio R , a luminosidade L (energia total por segundo) é obtida multiplicando-se o fluxo pela área $4 \pi R^2$:

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T_{ef}^4$$

A temperatura efetiva de uma estrela é, portanto, a temperatura de um corpo negro que emite a mesma quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo.

A luminosidade do Sol (L_{\odot}), isto é, a energia total emitida pela a estrela do nosso sistema solar é $L_{\odot} = 3,9 \times 10^{33}$ ergs/s, sendo que 1 Joule (J) é igual a 10^7 ergs. Como o raio do Sol (R_{\odot}) é de $R_{\odot} = 7,0 \times 10^5$ km, segue que a temperatura efetiva do Sol é $T_{ef} = 5400$ K.

Podemos então escrever a equação de Wien aproximadamente:

$$\lambda_{max} T = 2,916 \times 10^7 \text{ KÅ} \quad (T \text{ em kelvin, } \lambda \text{ em angstroms}).$$

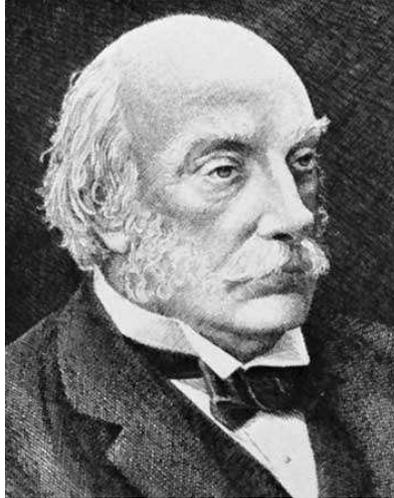
Em 1884, seu ex-aluno Boltzmann usou a teoria cinética e a termodinâmica para derivar essa mesma lei, e mostrou que a mesma era válida exatamente para emissores ideais, que irradiavam perfeitamente em todos os comprimentos de onda, chamados "corpos-negros". Dessa forma, tornou-se conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann. Stefan usou a lei para fazer a primeira estimativa satisfatória da temperatura da superfície do Sol (fotosfera), obtendo o valor de 6000 °C.

Lei de Rayleigh-Jeans

Foi observado que a lei de Wien tem concordância com os dados experimentais, mas apenas para os casos de comprimento de onda pequenos, ou seja, para frequência altas. E para a radiação na região de comprimentos de onda elevados, porém para valores pequenos dos comprimentos de onda?

No final do século XIX, o professor de matemática e física experimental em Cambridge, o inglês John William Strutt (1842 – 1919), também conhecido como o 3º Barão de Rayleigh, foi agraciado com o prêmio Nobel de Física de

1904 por pesquisas sobre a densidade dos gases mais importantes e pela descoberta do argônio. Ele deduziu, de modo empírico uma expressão matemática que utilizou para ajustar a curva da densidade de energia espectral da radiação do corpo negro.



<https://www.britannica.com/biography/John-William-Strutt-3rd-Baron-Rayleigh>

acesso em 10 de outubro de 2019

Também no início do século XX, o físico e matemático inglês James Hopwood Jeans (1877 - 1946), baseado na teoria ondulatória clássica, formulou uma teoria que trouxe um significado físico para a expressão empírica de Rayleigh. A partir daí, essa expressão passou a ser chamada de Lei de Rayleigh - Jeans.



<https://alchetron.com/James-Hopwood-Jeans> acesso em 10 de outubro de

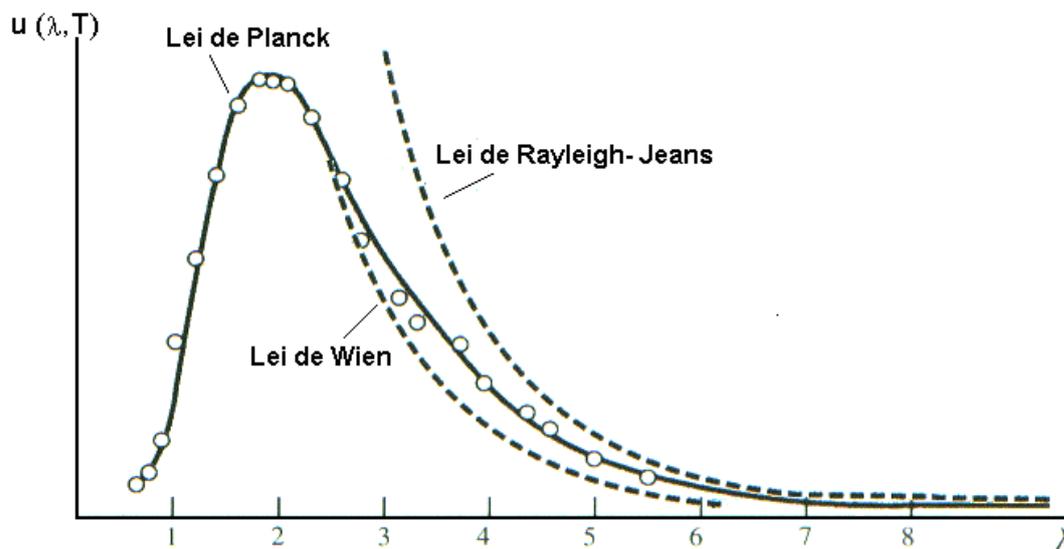
2019

A Lei de Rayleigh - Jeans suscitou uma séria crise conceitual chamada de catástrofe do ultravioleta, pois predizia que a radiação aumentava indefinidamente para comprimentos de onda mais curtos. Assim, o corpo negro irradiaria uma quantidade infinita de energia. Esta afirmação é considerada inaceitável. A lei ajustava a curva na faixa dos altos comprimentos de onda, mas divergia na faixa de baixos comprimentos.

A lei de Rayleigh-Jeans é expressa pela seguinte equação:

$$u_{\nu} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \bar{\epsilon} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{1}{\beta} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT$$

Região do espectro de emissão onde as leis de Wien e Rayleigh-Jeans concordam com a lei de Planck.



<http://www.ensinoadistancia.pro.br/EaD/QG/aula-3/aula-3.html> acesso em 10 de outubro de 2019

Quando comparamos os valores para u_{ν} dados pela equação acima com os resultados experimentais, observamos também que eles não concordam para toda região do espectro eletromagnético, conseqüentemente a lei de Rayleigh-Jeans é apenas parcialmente válida.

A lei de Planck é consistente com a lei de Wien em comprimentos de onda pequenos e com a lei de Rayleigh – Jeans para comprimentos de onda longos. Isso favoreceu uma imediata aceitação, mesmo que a lei de Planck era baseada em uma hipótese radical de estados de energia quantizados. E como foi comentado que a hipótese de quantização resolve e evita a catástrofe do ultravioleta clássica: para uma dada frequência (ν), é necessária uma energia ($E = h\nu$) para criar um fóton. Assim, quando a frequência aumenta, torna-se cada vez menos provável que o sistema possa fornecer a energia necessária para a criação de um fóton, o que implica uma frequência de corte em frequências altas e, portanto, em baixos comprimentos de onda, em concordância com os experimentos. Assim, a eliminação da catástrofe do violeta é uma consequência direta do caráter quântico da luz.

Um exemplo mais espetacular de um espectro de corpo negro é obtido ao se observar a radiação cósmica de fundo. Essa radiação é uma relíquia do big Bang e possui uma incrível uniformidade no universo inteiro. Em 2006 George Smoot e John Mather receberam o prêmio Nobel pela liderança de dois experimentos inovadores a bordo do satélite COBE (Cosmic Background Explorer) da NASA, um satélite explorador da radiação cósmica de fundo.

George Fitzgerald Smoot III é um astrofísico e cosmologista estadunidense que nasceu em 1945. É doutor em física pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT - Massachusetts Institute of Technology). Ele trabalha como catedrático na Universidade da Califórnia em Berkeley.

John Cromwell Mather é um astrofísico e cosmólogo estadunidense e nasceu em 1946 na Virgínia (Estados Unidos da América). Ele trabalha como astrofísico na NASA (National Aeronautics and Space Administration) no Goddard Space Flight Center, em Maryland nos Estados Unidos da América.

John Mather (à esquerda) e George Smoot (à direita).



https://wwwmpa.mpa-garching.mpg.de/mpa/institute/news_archives/news0610_nobel/news0610_nobel-en-print.html acesso em 10 de outubro de 2019

Do mesmo modo como a radiação de corpo negro foi utilizado para medir a temperatura do universo, essa radiação pode ser aplicada para medir a temperatura de objetos sem a necessidade de contato físico com eles. Portanto, sem um objeto estiver a uma temperatura suficientemente alta, ele irradiará fótons na faixa do visível.

APÊNDICE B

Questionário (sobre a estrutura da matéria)

1. O Sol na fase final da sua vida dará origem a:
 - a) um buraco negro
 - b) uma supernova
 - c) uma estrela de nêutrons
 - d) Uma Anã branca e a uma nebulosa planetária

2. As estrelas de massa superior a oito vezes a massa do Sol morrem em grandes explosões chamadas de:
 - a) Big Bang
 - b) supernovas
 - c) novas
 - d) nebulosas

3. As estrelas até oito massas solares na fase final da sua vida serão:
 - a) super gigantes vermelhas
 - b) gigantes vermelhas
 - c) supernovas
 - d) buracos negros

4. As estrelas de maior massa do que o Sol na fase de sequência principal são:
 - a) Vermelhas
 - b) azuis
 - c) brancas
 - d) marrons

5. As estrelas formam-se:
 - a) nas nebulosas

- b) nas nebulosas planetárias
- c) nos buracos negros
- d) anã branca

6. As estrelas se formam por ação:

- a) Da força nuclear
- b) Da força gravidade
- c) Da força elétrica
- d) Da força eletromagnética

7. As estrelas produzem a sua energia através:

- a) de reações químicas
- b) da força gravidade
- c) de fissão nuclear
- d) de fusão nuclear

8. O que são nebulosas? De que são feitas?

9. Descreva o ciclo de uma estrela como o nosso Sol.

10. No estágio final do Sol, ele poderá virar um buraco negro? Justifique a sua resposta.