

The background features a dark blue gradient with a series of curved, parallel lines that create a sense of depth and movement, resembling a tunnel or a stylized wave pattern. The lines are more densely packed on the right side and become more sparse towards the left.

Física Moderna

A FÍSICA DO SÉCULO XX

Uma abordagem voltada para o ensino médio

- **Carlos-Mauricio-Sergio-Welton**
- **Mini curso de 3 aulas**

Sabemos que não se pode ensinar 100 anos de evolução de física moderna em **apenas uma aula**. No entanto para tentar fazer o aluno pensar de forma diferente de como ele pensou física até aqui, elaboramos uma aula com projeção em *powerpoint*.

O curso foi preparado para ser apresentado em **três aulas** de 45 minutos cada.

No final da apresentação, os alunos deverão abrir uma **discussão** direcionada e dirigida pelo professor até a conclusão de que a luz não é onda nem partícula, mas uma entidade com ambas as características: **corpuscular e ondulatória**.

Trata-se de um tratamento totalmente **qualitativo** e cujo resultado é fazer o aluno perceber que a física clássica até então aceita e testada não passava no teste de um dado experimento. Estamos falando do efeito fotoelétrico. Um experimento crucial no entendimento da física moderna.

No final da primeira parte da aula, após a apresentação do experimento de **Thomas Young** e a determinação do caráter ondulatório da luz, o aluno se convence de que a luz é onda.

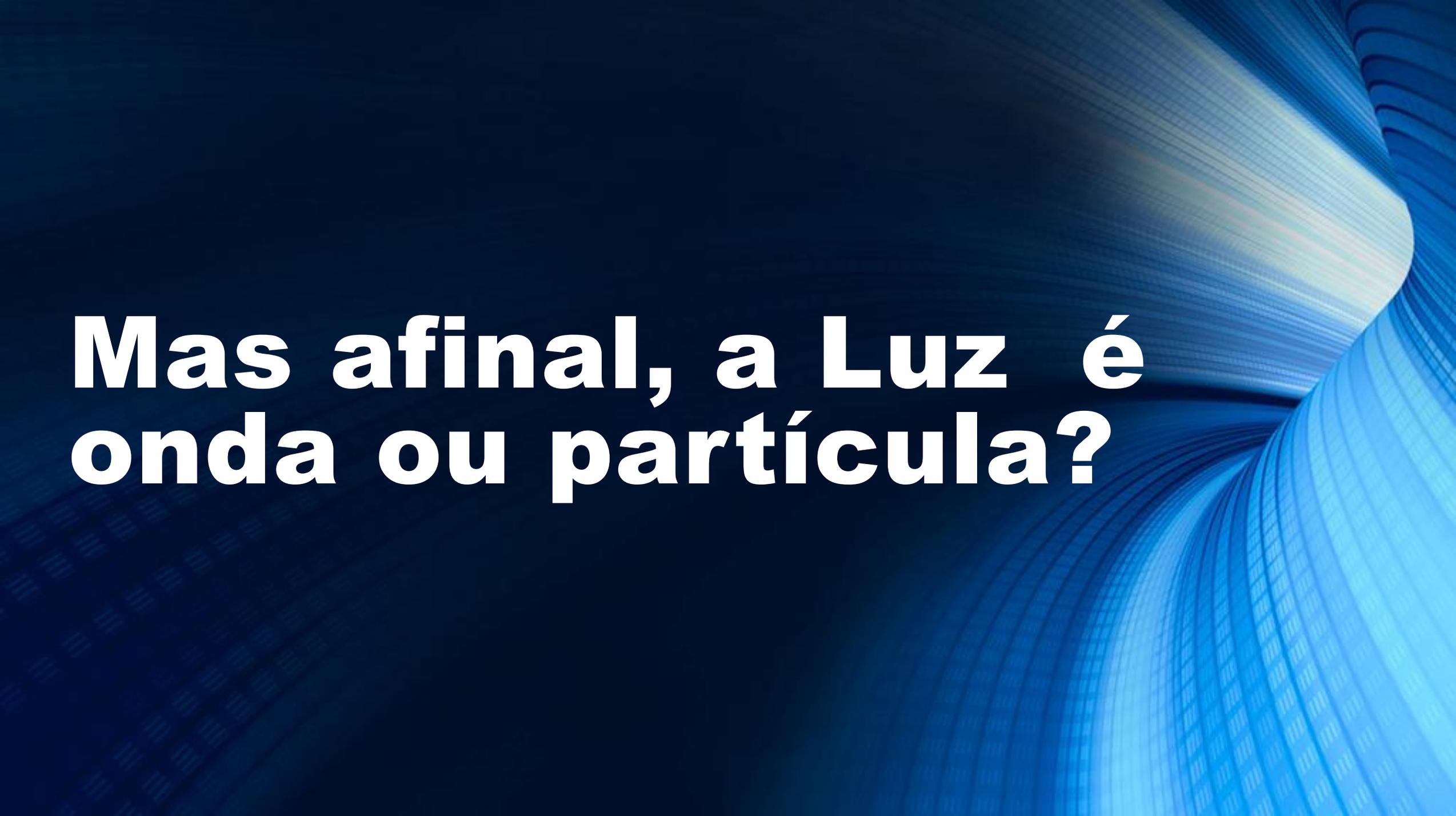
Mas.....

No final da segunda parte da aula, nos mesmos moldes qualitativo, o aluno entenderá que o modelo ondulatório da luz precisava ser mudado por outro modelo; o corpuscular, único modelo que explicava o experimento estudado.

Com os dois experimentos distintos, um levando a determinação de que a **luz é partícula** e outro levando a determinação de que a **luz é onda**, chegaremos a **3ª parte do curso**, na qual os alunos tentando explicar um dos experimentos sob o modelo do outro, chegariam a conclusão do caráter dual da luz.

Dois experimentos cruciais para a Física Moderna

- Fenda dupla de Thomas Young:
..... A LUZ É ONDA!
- O Efeito Fotoelétrico de Einstein:
..... A LUZ É PARTÍCULA!

The background features a dark blue gradient on the left that transitions into a bright, glowing blue tunnel-like structure on the right. The tunnel is formed by numerous thin, curved lines that create a sense of depth and movement, resembling a light beam or a particle path.

**Mas afinal, a Luz é
onda ou partícula?**

PRIMEIRA PARTE:

“A FENDA DUPLA DE YOUNG”

A LUZ É ONDA !

Thomas Young (1773 – 1829) nasceu em Milverton, Inglaterra.

Foi físico, médico e egiptólogo britânico tendo participado da tradução da pedra de Roseta.

Mas a profissão escolhida foi a medicina.

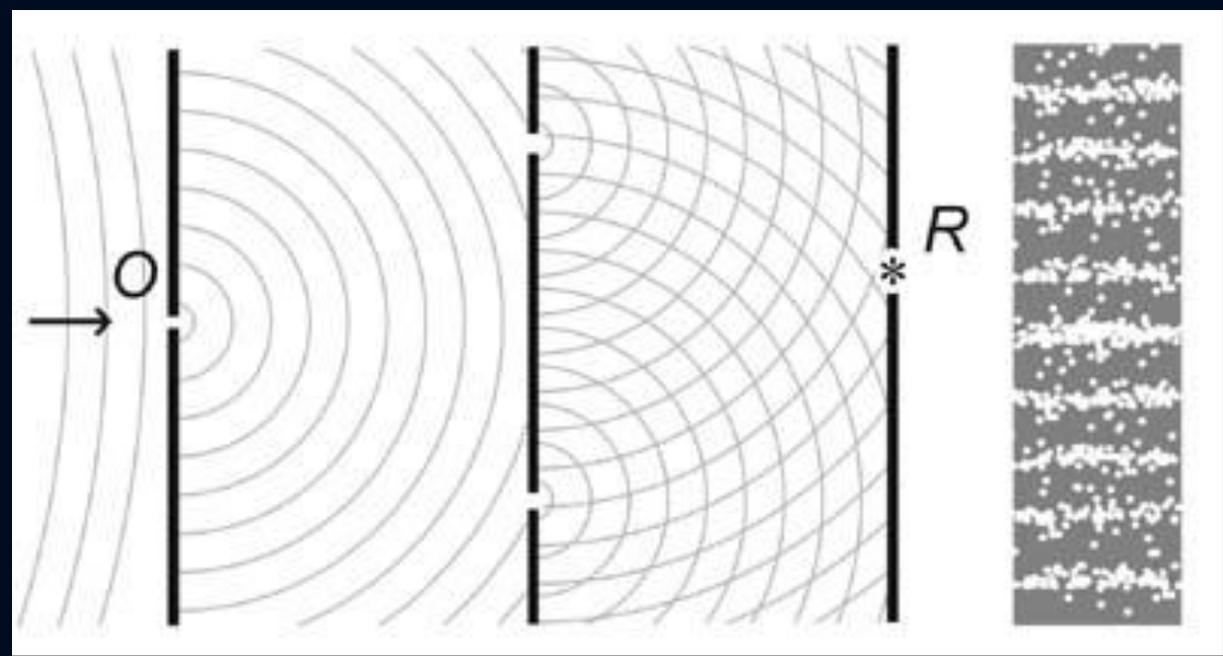
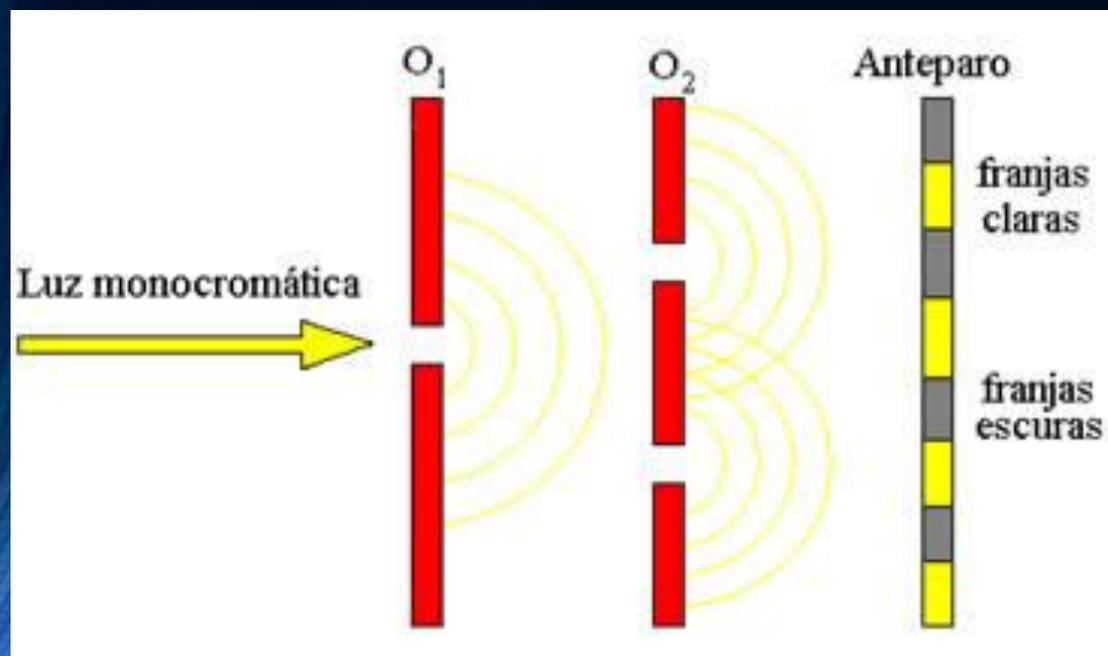
Tornou-se conhecido pelos seus trabalhos de óptica, principalmente pela abordagem do fenômeno da interferência.

Foi com a experiência da dupla fenda que ele provou que a luz tinha um caráter ondulatório, como previa Christiaan Huygens, não de partícula como previa Isaac Newton.

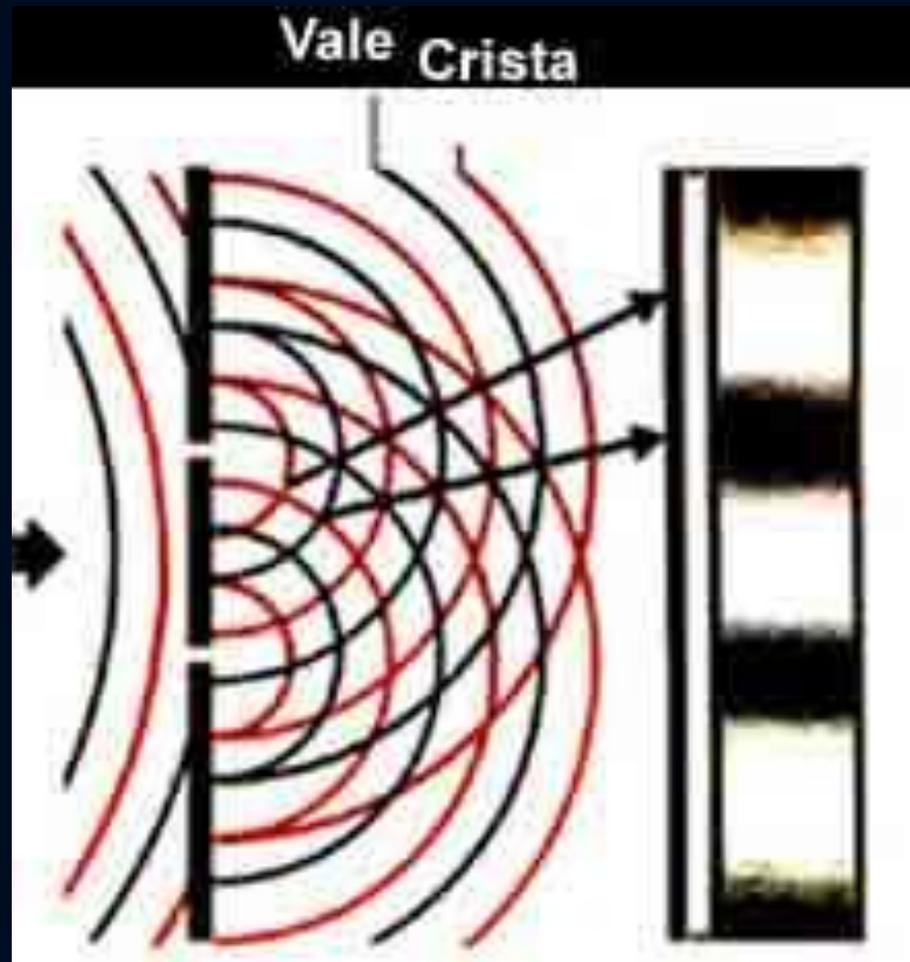
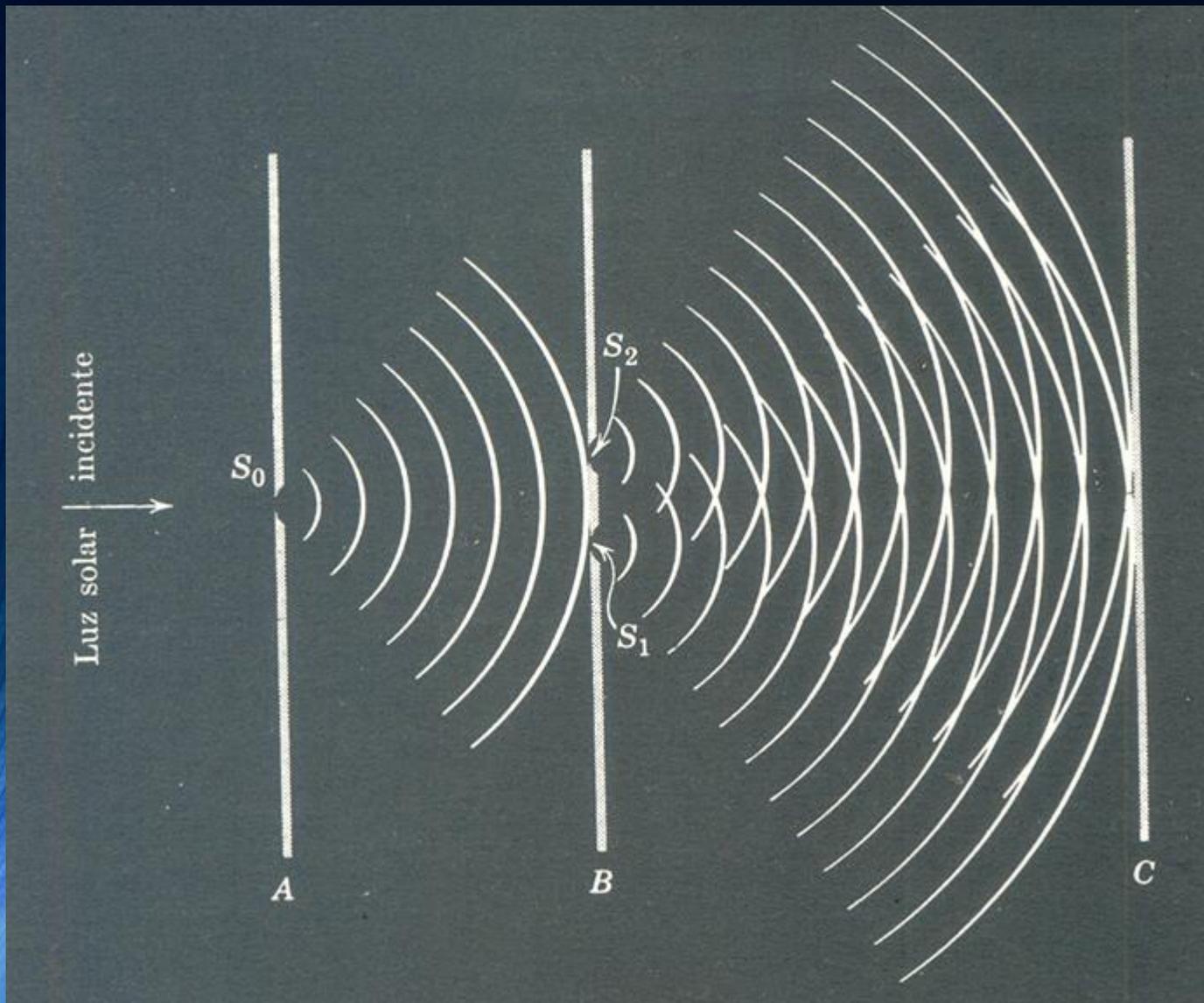


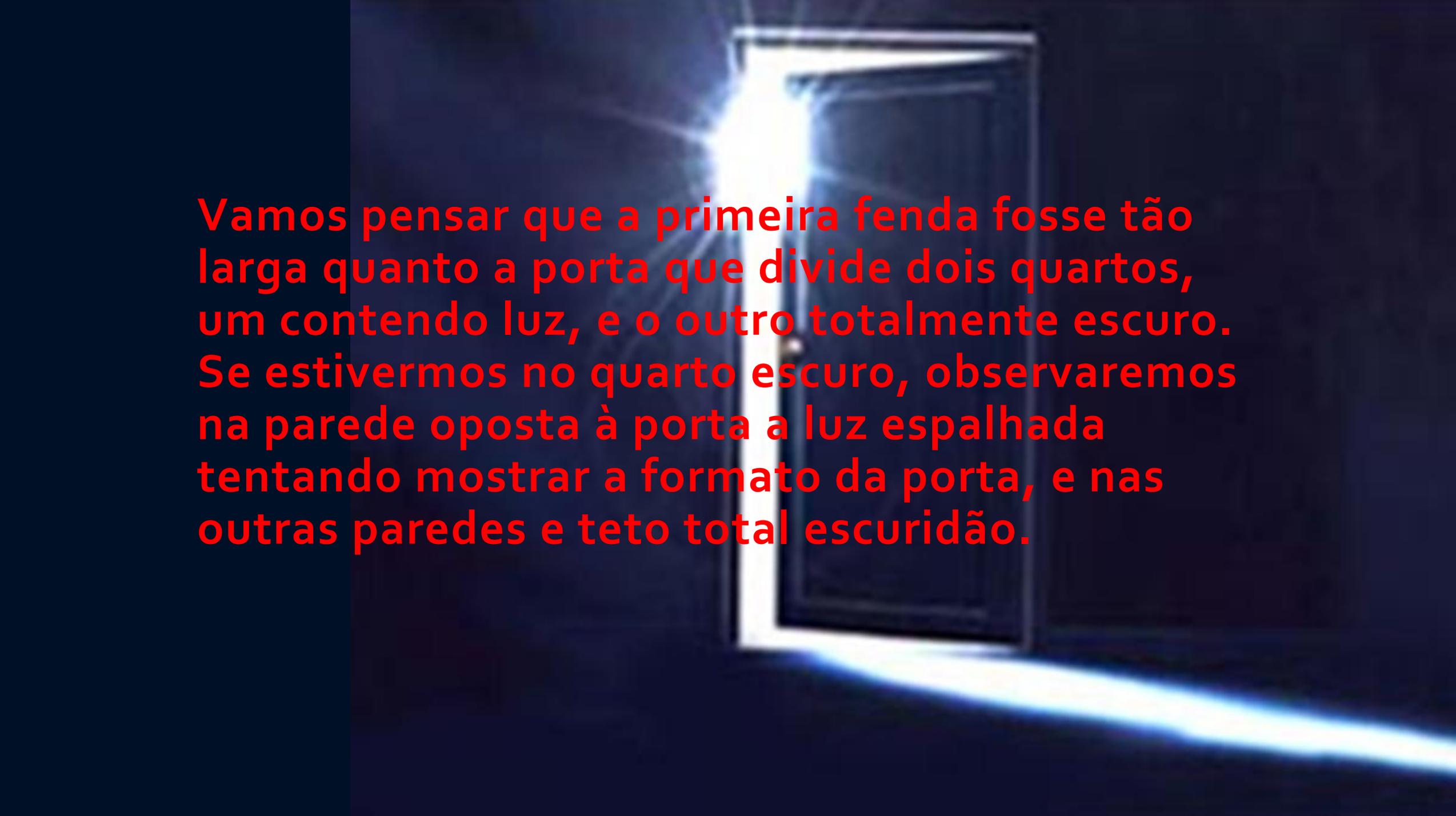
Foi o médico inglês Thomas Young que propôs um experimento a partir do qual, os cientistas não tiveram mais dúvida quanto à natureza da luz: **a luz era uma onda e não partículas como imaginava Isaac Newton.**

O aparato experimental era formado por uma fonte de luz, no caso, a própria luz solar, duas lâminas onde na primeira havia uma fenda e uma segunda colocada logo atrás da primeira lâmina com duas fendas, sendo que uma delas podiam ser fechada e finalmente, um anteparo ou tela de observação, colocada a uma distância da segunda lâmina.



O raio de luz vindo da fonte atravessava a fenda da primeira lâmina, depois as duas fendas da segunda lâmina, sendo que uma das fendas da segunda lâmina podia ainda ser fechada.





Vamos pensar que a primeira fenda fosse tão larga quanto a porta que divide dois quartos, um contendo luz, e o outro totalmente escuro. Se estivermos no quarto escuro, observaremos na parede oposta à porta a luz espalhada tentando mostrar a formato da porta, e nas outras paredes e teto total escuridão.

É de se esperar que a luz caminha retilineamente pelas laterais da porta atingindo a parede e mostrando a imagem da porta no anteparo, totalmente iluminado. Mas o que aconteceria se a largura da porta fosse se tornando cada vez menor?

Queremos dizer com isso, que a porta entre os quartos do exemplo anterior se tornaria tão fina quanto o comprimento de onda da luz .

À medida que diminuimos a espessura da fenda, a luz penetra cada vez mais na sombra prevista pela ótica geométrica, como e fosse um leque. Na verdade demonstramos o fenômeno de difração, que somente percebemos quando a porta entre os quartos se torna tão fina quanto o comprimento de onda da luz que por ela passa.

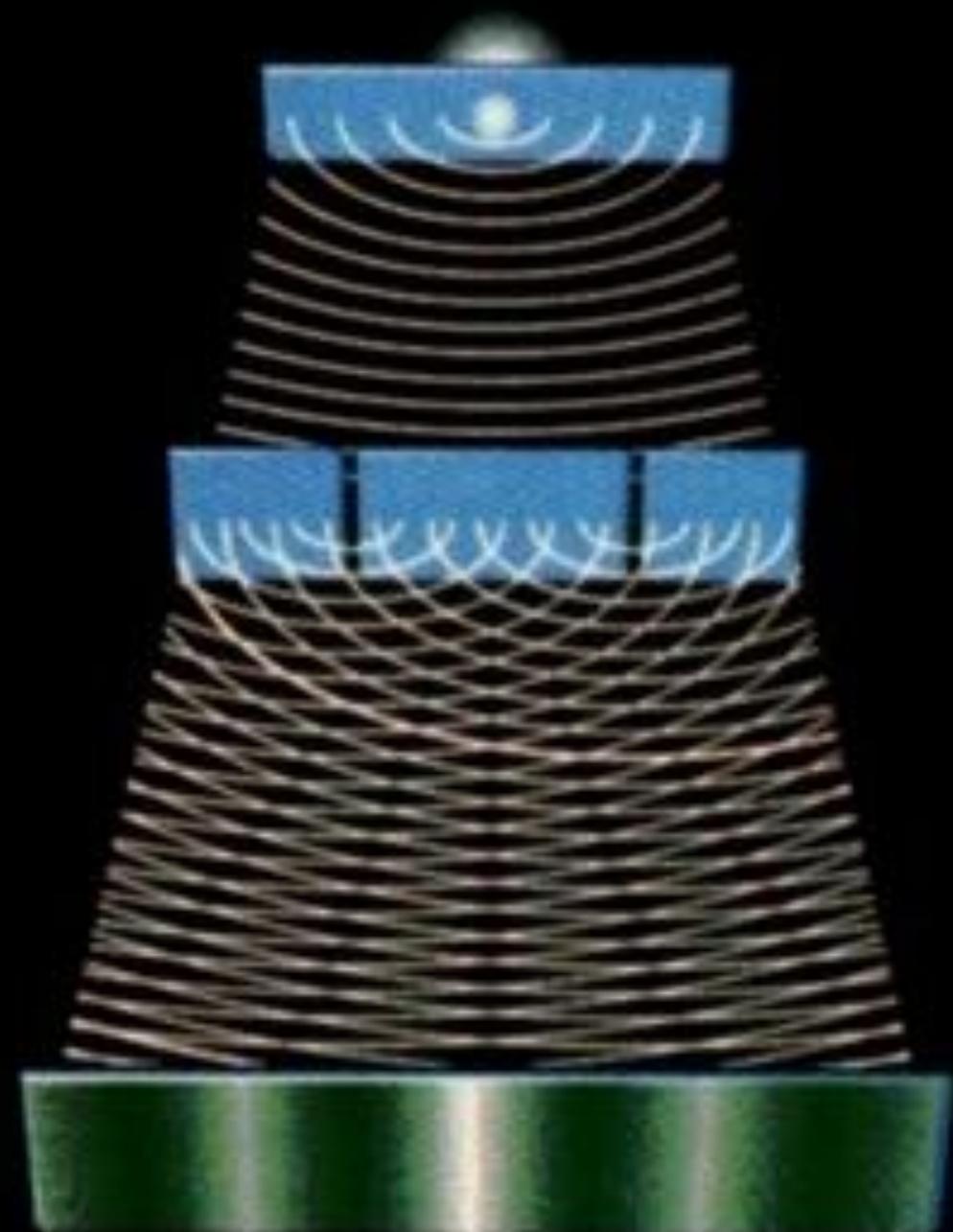


Mas voltemos ao experimento de Young. Vocês se lembram que a segunda lâmina tinha duas fendas?

O que você viu na porta, o cientista viu quando tinha uma fenda somente aberta, mas quando ele abriu a segunda fenda, tudo ficou muito estranho.

Com a segunda fenda aberta, cada uma será pelo princípio de Huygens, considerada uma fonte de uma onda secundária. As duas ondas irão se interferir. E assim aparecerão as franjas de interferência. Com uma só fenda, isto também ocorre, mas a fenda tem que ser suficientemente fina da ordem de grandeza do comprimento da luz passante, o que ao contrário, não será perceptível o aparecimento das franjas de interferência.

O que Thomas Young observou no anteparo foi revolucionário na época e parecia que definitivamente a natureza da luz estava desvendada. Ele observa no anteparo as intrigantes faixas de luz e escuridão alternadas.

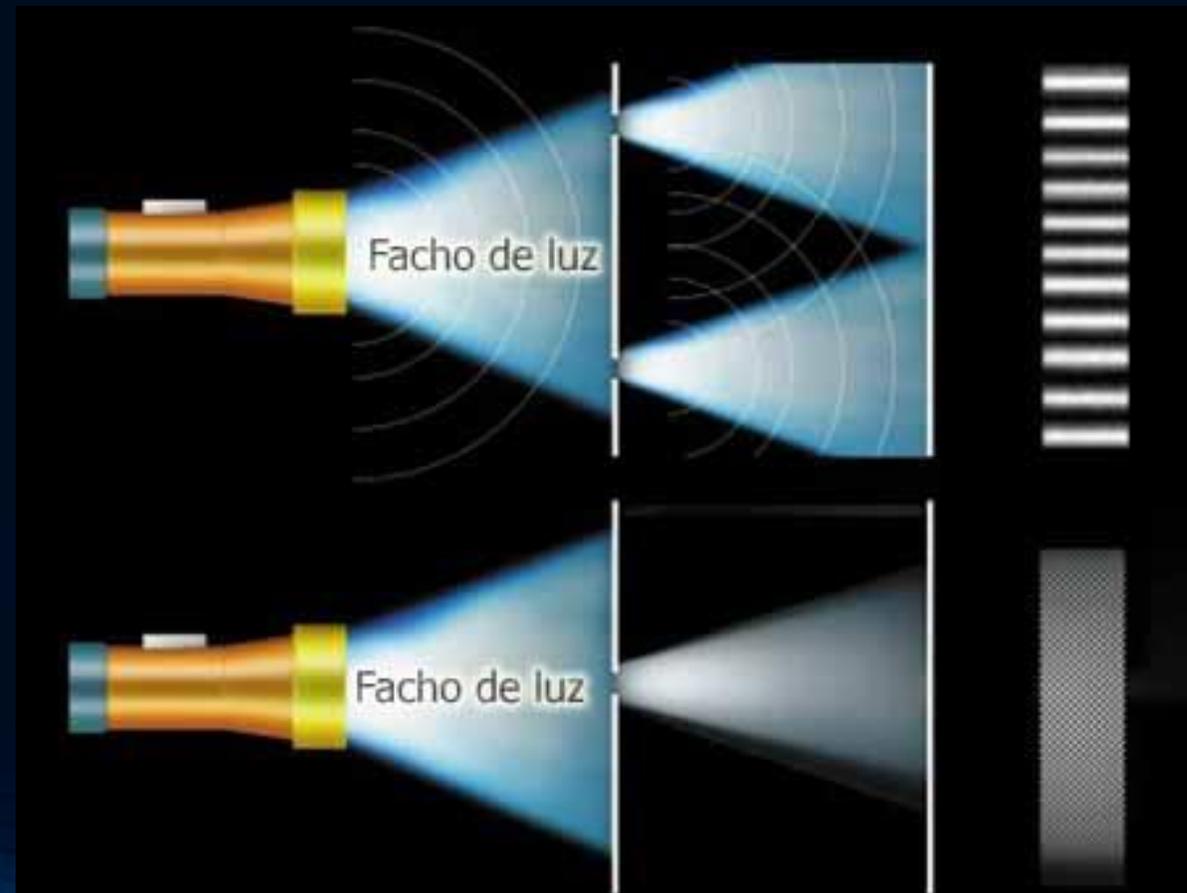


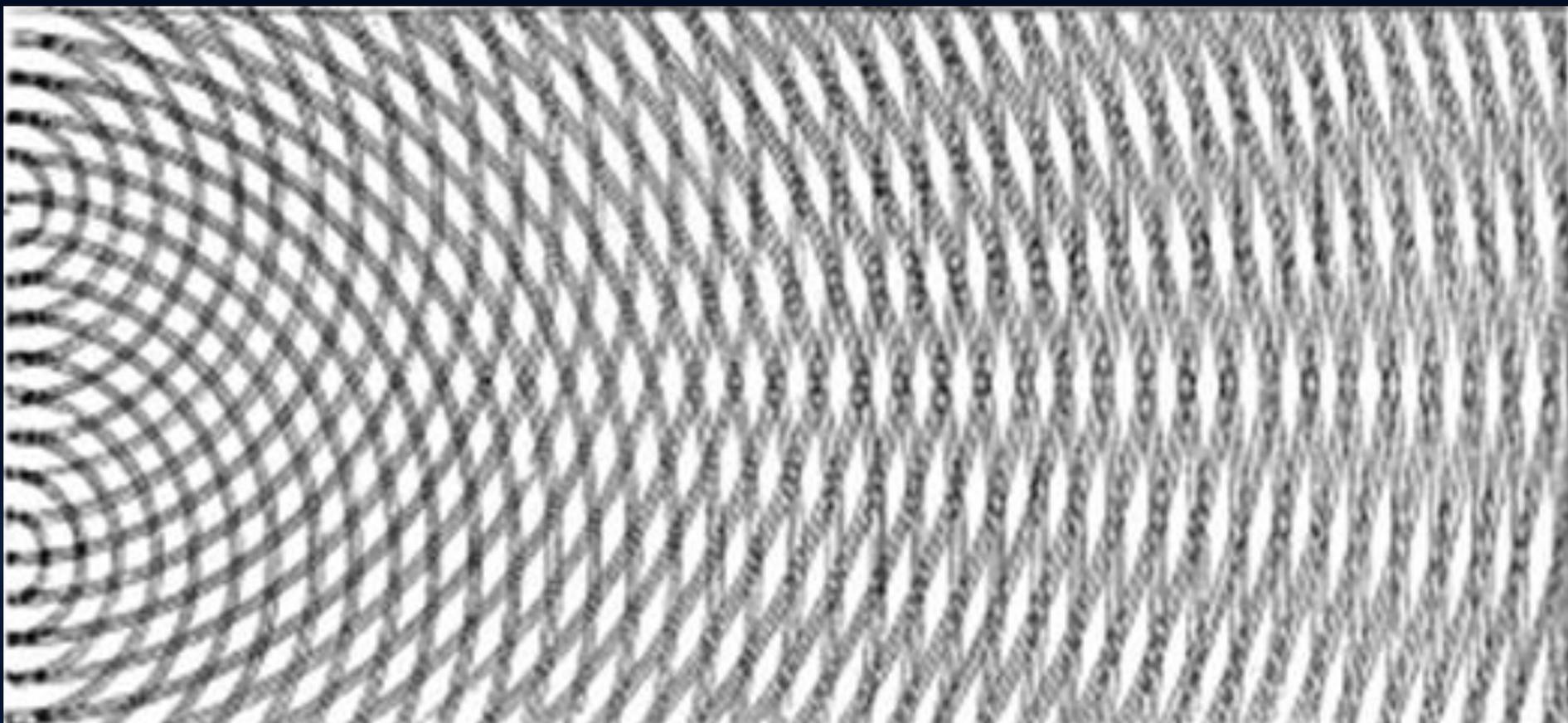
Ondas

Este fenômeno é observado facilmente quando ondas de água passam através de uma fenda dentro de um tanque de ondas. Se agitarmos a água periodicamente, constata-se o aparecimento de ondas que se espalham por difração quando encontra uma passagem na barreira à sua frente.



Na imagem abaixo vemos a diferença entre a luz passando por uma fenda e por duas fendas. O fenômeno da interferência aparece com duas fendas.





CONCLUSÃO:

A LUZ É ONDA !

MAS



SEGUNDA PARTE:

“O EFEITO FOTOELÉTRICO”

A LUZ É PARTÍCULA !

Philipp Von Lenard (1862-1947), físico alemão nascido na Hungria.

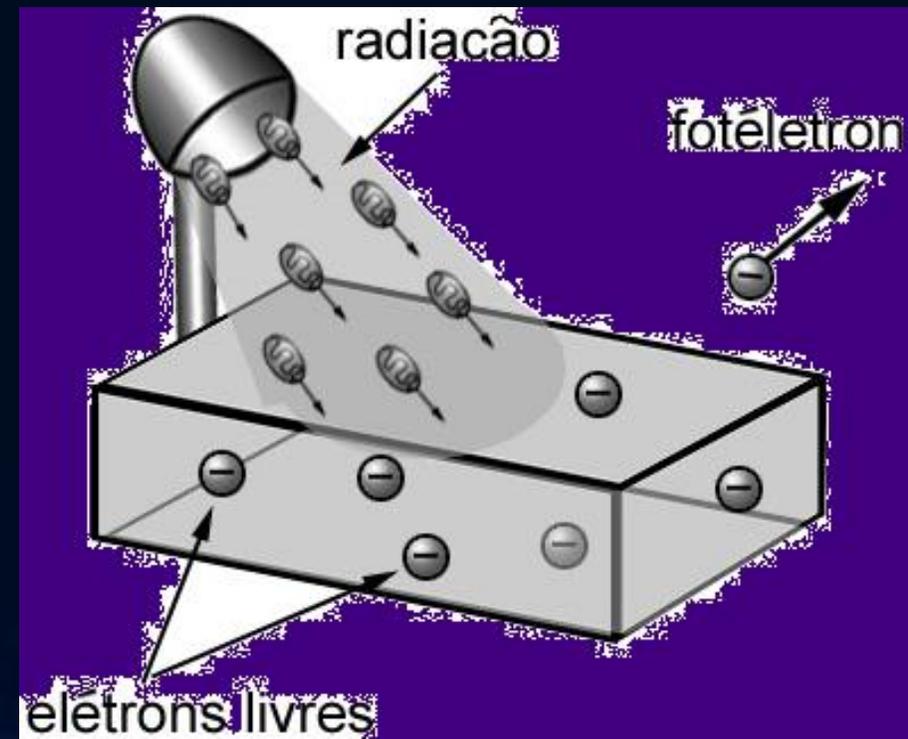
Nazista por convicção, Lenard recebeu o premio Nobel de Física de 1905 pelo seu trabalho sobre os raios catódicos.

Defendeu a idéia de uma física ariana em contraposição ao que os nazistas consideravam de física judia baseada principalmente na teoria da relatividade de Einstein. Foi conselheiro de Hitler e professor de física teórica na Universidade de Heidelberg desde 1931. Quando a Alemanha nazista perdeu a guerra em 1945, Lenard foi expulso da universidade e morreu dois anos depois.

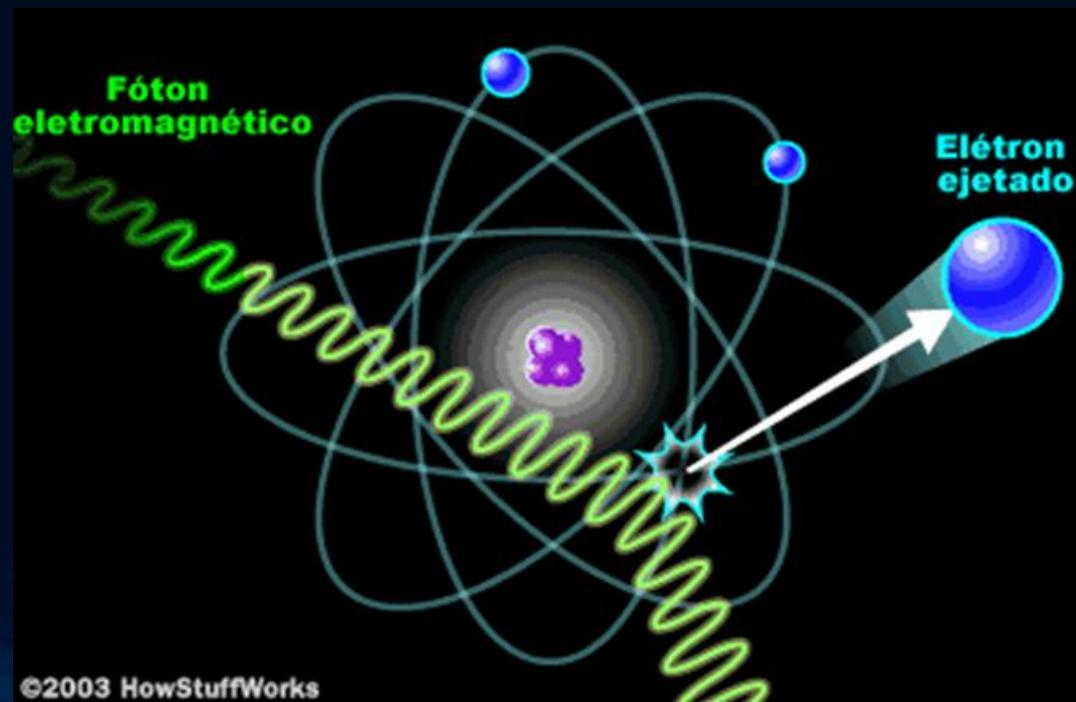
Foi o seu experimento sobre o efeito fotoelétrico e suas observações que levou à interpretação de Einstein em 1905 sobre o resultado de sua experiência. Einstein ganharia o prêmio Nobel de 1921 por suas conclusões sobre a experiência de Lenard.



No fim do século XIX já se sabia que, quando um feixe de luz incide sobre a superfície de determinados metais, a luz pode arrancar elétrons dessa superfície.



A ocorrência desse fenômeno, conhecido como efeito fotoelétrico, era explicada de uma maneira muito simples: os elétrons da superfície do metal, ao serem iluminados, recebem energia, ficam agitados e abandonam o metal.



Entretanto pesquisas mais detalhadas, realizadas em laboratório mostraram que: existe uma frequência-limite f_0 da luz incidente que ilumina o metal, abaixo da qual os elétrons não são ejetados; para cada metal existe uma frequência-limite f_0 .

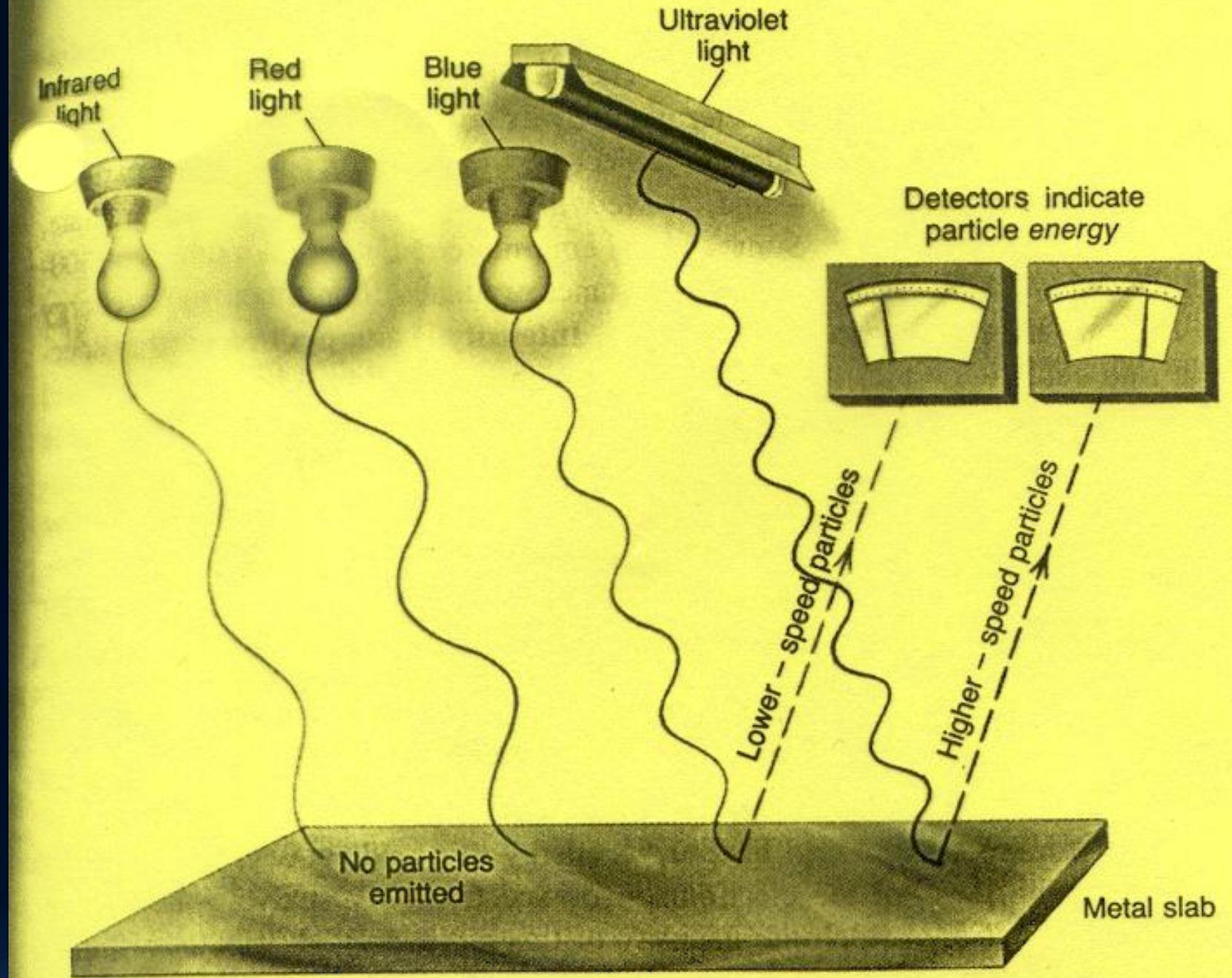
abaixo da frequência-limite f_0 não ocorre o efeito fotoelétrico, por mais que se aumente a intensidade da luz que incide sobre o metal.

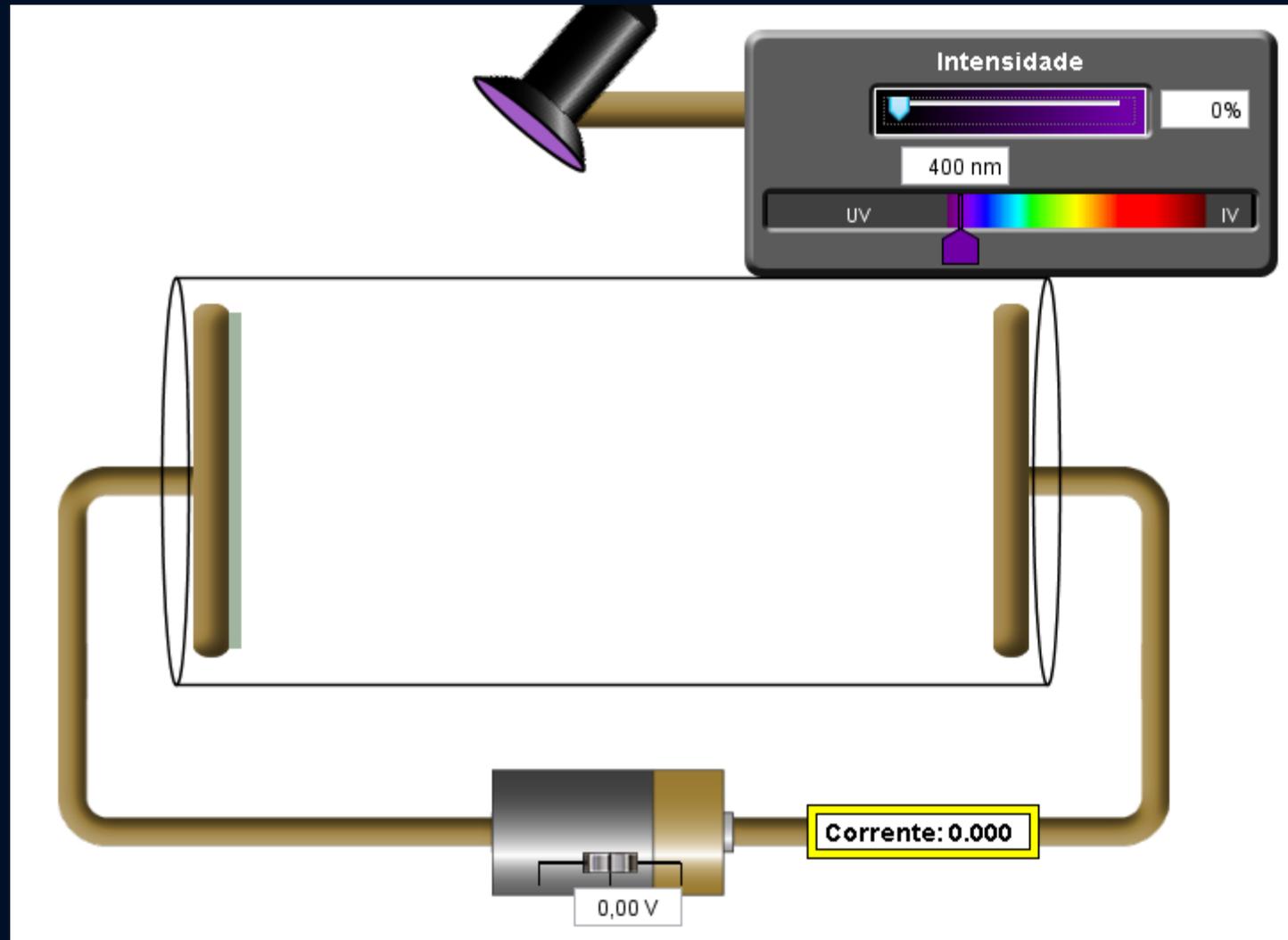
A física clássica tentou explicar esse fenômeno utilizando a teoria eletromagnética: a luz, como toda onda eletromagnética, transporta energia ao se propagar. A energia transportada aumenta com o aumento da intensidade luminosa e, também, com o aumento da sua frequência.

Então:

aumentando-se a intensidade luminosa, os elétrons deveriam ser ejetados com maior energia, fato que não ocorre.

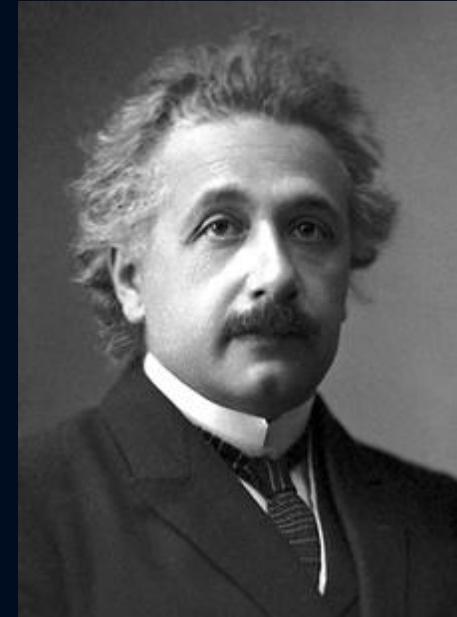
O resultado da pesquisa mostra que a energia dos elétrons ejetados não depende da intensidade luminosa; o efeito fotoelétrico deveria ocorrer com luz de qualquer frequência, bastando para isso aumentar a intensidade luminosa; no entanto, abaixo da frequência-limite f_0 não há efeito fotoelétrico.





Portanto, a interpretação do efeito fotoelétrico como onda eletromagnética não explica os resultados experimentais.

A interpretação correta do efeito fotoelétrico foi enunciada em 1905 por Einstein, que veio reforçar a teoria quântica de Planck.



De acordo com Einstein, a luz é formada por um feixe de fótons, cada um dos quais possui uma energia hf . Uma luz muito intensa é aquela que possui muitos fótons. A energia de cada fóton depende da frequência da radiação da luz.

Para explicar o efeito fotoelétrico, Einstein admitia que cada fóton de luz, ao se chocar com um elétron da superfície, transfere para este toda a sua energia. Se a energia fornecida for suficiente para vencer a atração do metal sobre o elétron e dotá-lo de uma certa energia cinética, ele escapará.

De acordo com Einstein, o princípio da conservação da energia para o efeito fotoelétrico é expresso por:

$$hf = W + E_c$$

conhecida como equação do efeito fotoelétrico de Einstein, sendo E_c a energia cinética do elétron ejetado e W o trabalho realizado para extrair o elétron do metal.

A equação mostra que luz de frequência muito baixa não causa efeito fotoelétrico em dado metal, por mais intensa que seja a intensidade da luz incidente.

Esta ousada teoria de Einstein deu origem a um modelo corpuscular para a luz sugerindo que, na verdade, ela é composta por *partículas de luz ou fótons*.

CONCLUSÃO:

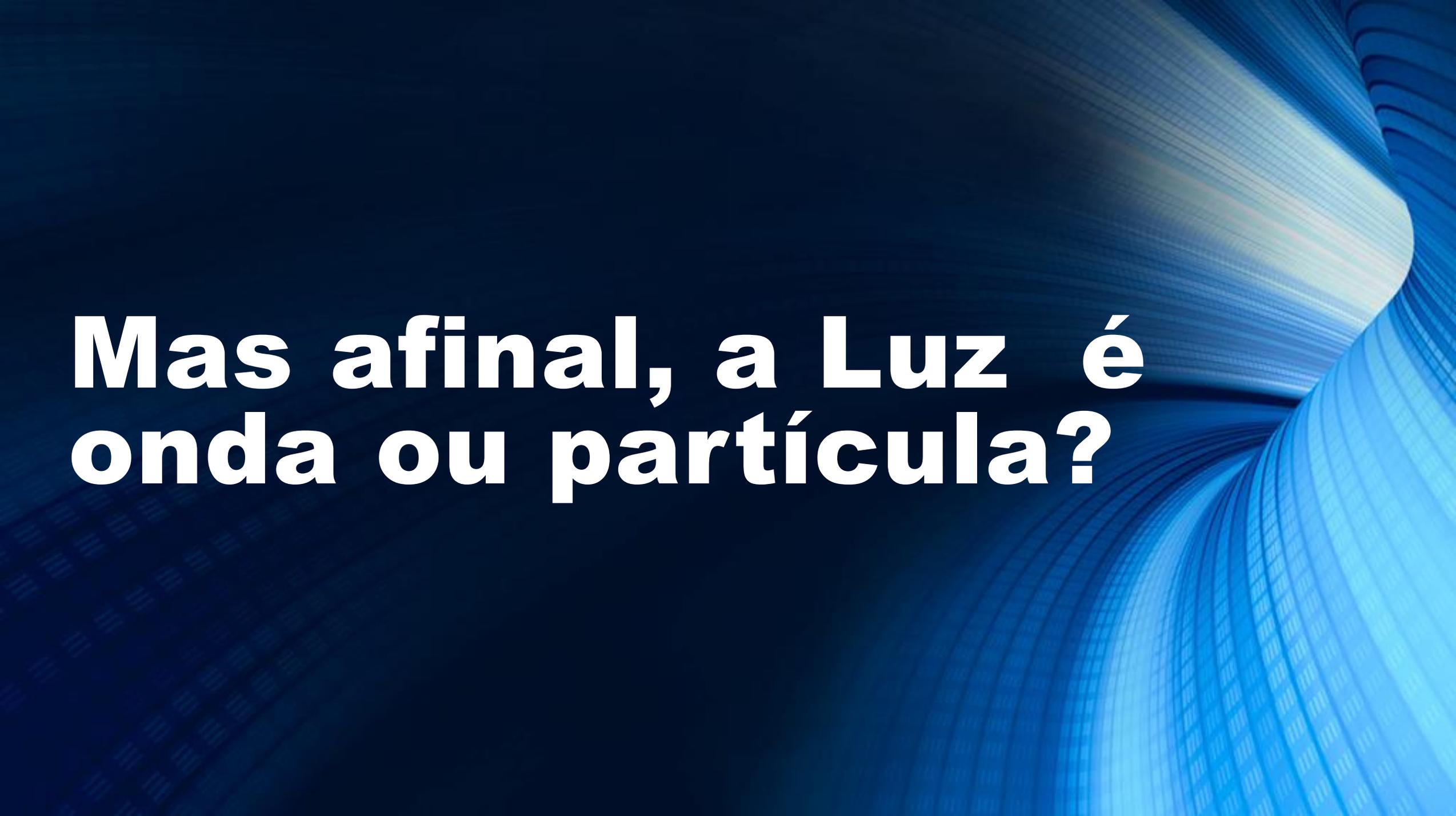
A LUZ É PARTÍCULA!

DISCUSSÃO EM SALA DE AULA

Fenômeno como o fotoelétrico indica que a luz tem um comportamento corpuscular que só pode ser explicado a partir do conceito de fóton. Entretanto, para explicar vários fenômenos, a luz deve ser tratada como onda.

Vemos, portanto, que a luz apresenta um comportamento duplo. Em certas circunstâncias comporta-se como partícula e, em outras, como onda.

Apesar de a luz apresentar esse comportamento duplo, nunca apresenta ambos num mesmo experimento. Num determinado fenômeno se comporta como onda e, em outros, como partícula.

The background features a dark blue gradient on the left that transitions into a bright, glowing blue tunnel-like structure on the right. The tunnel is formed by numerous thin, curved lines that create a sense of depth and movement, resembling a light path or a wave. The overall effect is futuristic and dynamic.

**Mas afinal, a Luz é
onda ou partícula?**

TERCEIRA PARTE:

“CONCLUSÃO”

A LUZ É PARTÍCULA E ONDA !