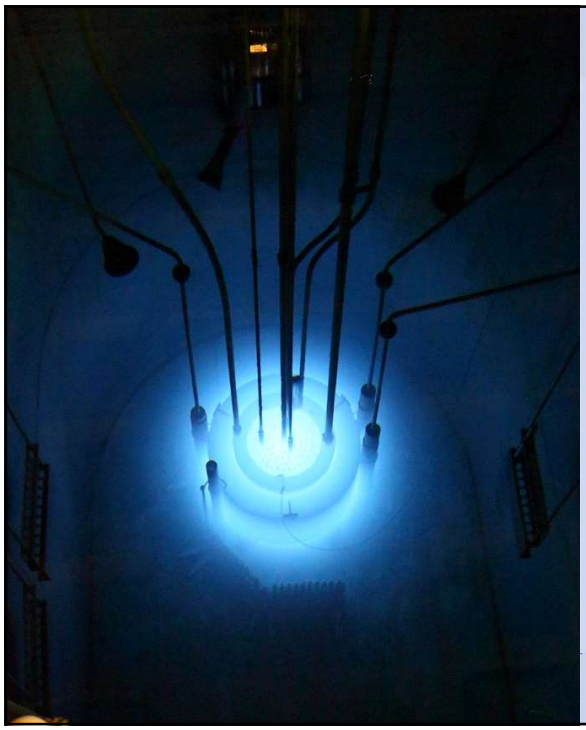


1

Radiação de Cherenkov 1

Eletromagnetismo II (4302304)

Prof. *Ricardo A. Terini*

E-mail: rterini@if.usp.br

Bloco F – Conjunto Alessandro Volta – sl. 105

LDRFM – IF-USP

1

2

- 1ª. Parte: Comentários sobre a Prova P2
  - 2ª. Parte: Radiação de Cherenkov

2

Radiação de Cherenkov. O que é

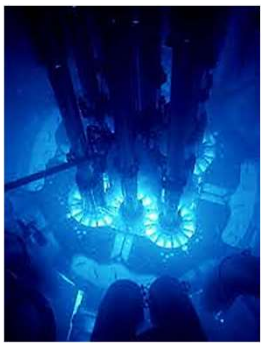
https://www.youtube.com/watch?v=4hijBTgrvjY

- A radiação de Cherenkov possui diversas aplicações: na medicina, em reatores nucleares, em astrofísica e física de partículas etc.
- Há evidências de que Marie Curie, em 1910, observou uma luz azulada em seus experimentos com soluções de *rádio* altamente concentrado.
- Antes disso, O. Heaviside (1888) e A. Sommerfeld (1904) teriam previsto teoricamente a produção dessas radiações, sem grandes repercussões.
- Porém, só em 1934 essa radiação foi detectada experimentalmente por **Pavel A. Cherenkov** (1904-1990), que estudou o fenômeno no Instituto de Física Lebedev da Academia de Ciências da URSS, sob a supervisão de Sergey I. Vavilov. (tb Rad. Vavilov-Cherenkov)
- Três anos depois, os cientistas Igor Tamm e Ilya Frank desenvolveram uma teoria relativística baseada nas equações de Maxwell.

3

Radiação de Cherenkov. O que é

- Por conta desse trabalho conjunto, os três receberam o **Prêmio Nobel de Física** em 1958.



- Radiação de Cherenkov num reator de piscina.

The Nobel Prize in Physics 1958

Photo from the Nobel Foundation archive.
Pavel Alekseyevich Cherenkov

Photo from the Nobel Foundation archive.
Il´ja Mikhailovich Frank

Photo from the Nobel Foundation archive.
Igor Yevgenyevich Tamm

https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1958/summary/

4

Radiação de Cherenkov. O que é

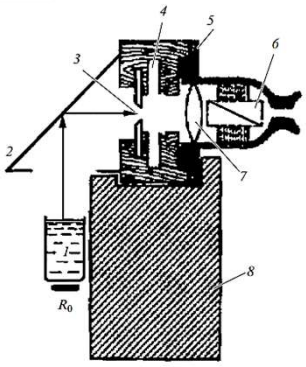


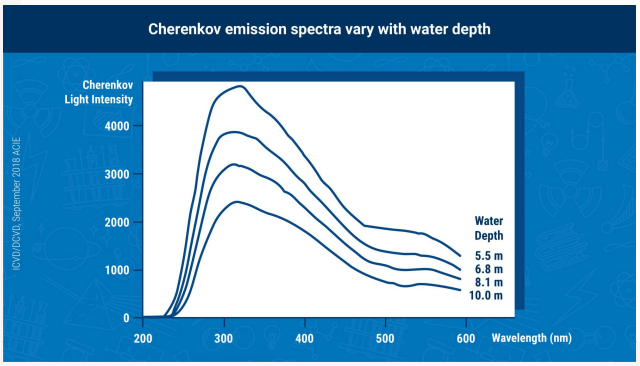
Figure 1. Cherenkov's apparatus for measuring the brightness of liquid glow by the quenching method.

- Cherenkov observou uma fraca luz azulada ao redor de uma preparação radioativa na água durante os experimentos. Analisou sua intensidade, espectro e polarização.
- Seu doutorado (1940) foi sobre luminescência de soluções de sal de urânio (uranila), que eram excitadas por raios gama em vez de luz visível, como feito comumente.
- Cherenkov descobriu que essa radiação azulada era anisotrópica e concluiu que o brilho azulado não era um fenômeno fluorescente.

5

Radiação de Cherenkov. O que é

- *A radiação Cherenkov consiste em um espectro contínuo de λ's que se estende da região UV até a parte visível do espectro, atingindo um pico em cerca de 320 nm na água. Apenas uma quantidade reduzida de emissões é encontrada nas regiões de IV ou microondas.*



https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-cherenkov-radiation

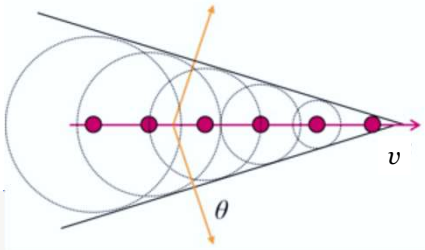
- Cherenkov também verificou que a radiação era polarizada na direção do feixe de raios gama usado na excitação do meio...
- ...E que **era produzida pelos elétrons** liberados pelos raios gama.

6

7

Radiação de Cherenkov. Análise teórica

- Experiências com campos magnéticos evidenciaram que a emissão era *anisotrópica,* isto é *direcional*.
- I. Y. Tamm, observou que isso não ocorria em espaços muito pequenos...:
- "Isso significa que ocorre uma emissão coerente ao longo do caminho do elétron, comparável ao comprimento de onda da onda de luz."
- Assim, a radiação não poderia resultar da interação de um elétron em movimento com *um* átomo individual, mas sim com um grande número de átomos do meio.
- I. M. Frank usou, então, o *princípio de Huygens* para analisar a situação: ondas esféricas produzidas na interação da partícula com vários átomos *interferem* e produzem um padrão cônico, propagando-se na dir. θ.

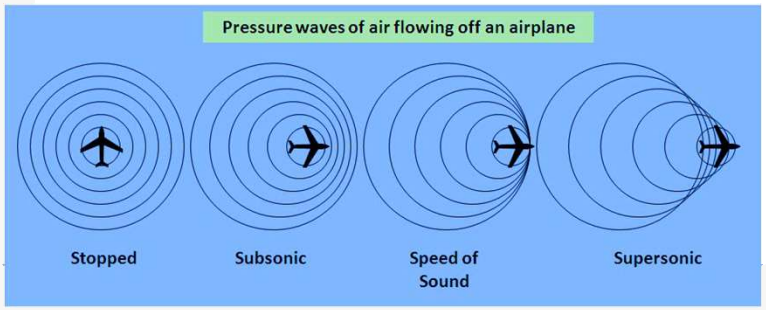


7

8

Radiação de Cherenkov. Análise teórica

- Num meio como água, por exemplo, a luz se desloca com *velocidade menor do que no ar ou vácuo* ($v < c$). Assim, é possível que, nesse meio, uma partícula tenha uma velocidade maior do que a da luz, embora menor que c. Nessas condições, há produção de *radiação* que se espalha.
- O fenômeno é análogo ao do jato super sônico, que gera ondas de choque que se afastam no formato de um cone (*cone de Mach*). *(fig.)*



- Enquanto $v_{avião} < v_{som}$, as ondas não interferem.
- Quando $v_{avião} > v_{som}$, as ondas interferem e forma-se uma **onda de choque**, com contorno em formato de cone.

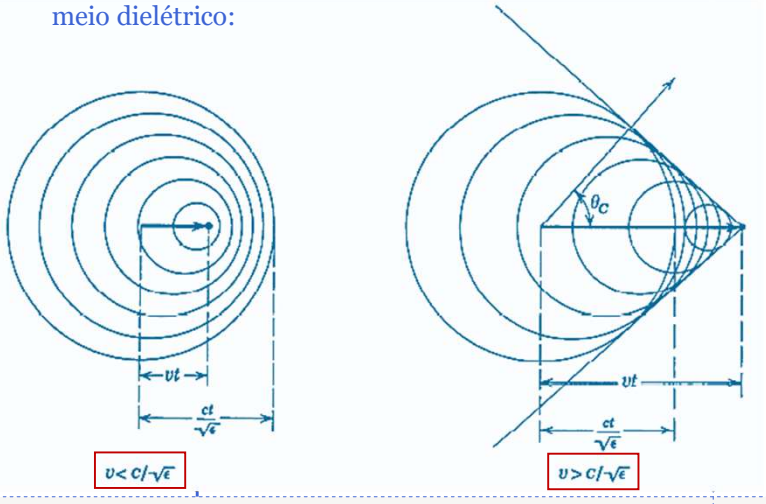
8

9

Radiação de Cherenkov. Análise teórica

- Se $v < {}^{c}/_{n} = {}^{c}/_{\sqrt{\varepsilon_r}}$, a 1ª. frente de onda radiada contém as subsequentes, elas não se superpõem e viajam mais rápido que a partícula.
- Se $v > {}^{c}/_{n} = {}^{c}/_{\sqrt{\varepsilon_r}}$, *a partícula ultrapassa a frente de onda radiada*, e deixa para trás uma sucessão de ondas esféricas que, por interferência construtiva, formam um contorno cônico (onda de choque).

No movimento de um elétron no meio dielétrico:



9

10

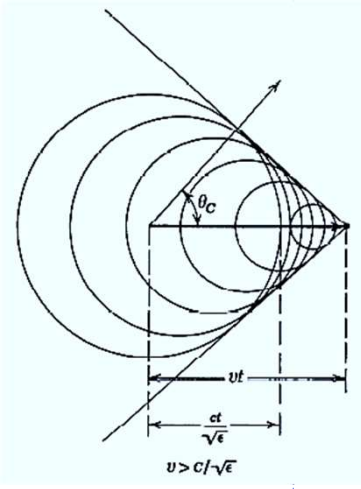
Radiação de Cherenkov. Análise teórica

- P/ $v > {}^{c}/_{n} = {}^{c}/_{\sqrt{\varepsilon_r}}$, então, essa frente de ondas cônica se propaga num ângulo θ_C com a direção do movimento da partícula.
- A direção de propagação da frente de onda coincide com a normal à superfície cônica, e o ângulo θ_C entre a normal e a velocidade da partícula é definido por

$$\cos\theta_C = {}^{c}/_{nv} = {}^{1}/_{\beta_n}, \quad sendo\ \beta_n = {}^{nv}/_{c}$$

... que só é real se $v > c/n$.

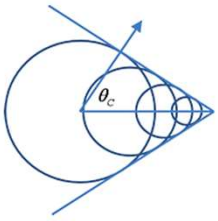
- Em algumas aplicações práticas, o ângulo θ_C pode ser medido , permitindo a *identificação da partícula* a partir da determinação da *velocidade* e do *momento*.



Questão: As eqs. de Maxwell não demonstram que cargas com velocidade constante não irradiam no vácuo?

10

Radiação de Cherenkov



$$\theta_C = \cos^{-1}\left(\frac{1}{\beta n}\right)$$

- **Exemplo 1:** Uma carga puntual movimenta-se na água (n ≅ 1,33) com velocidade 0,85c .
- **(a)** Qual o ângulo de propagação da radiação de Cherenkov?
- **(b)** Qual a mínima velocidade possível da partícula para haver radiação de Cherenkov?
- **(c)** Como as respostas anteriores se alterariam se o meio fosse gelo (n = 1,31)?