

# Introdução à Física de Partículas Elementares (Física Moderna IIA)

## Aula 07

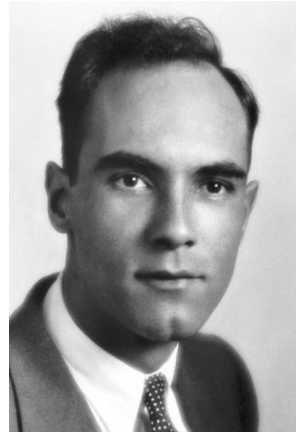
*Câmaras de Nuvem e a Descoberta do Pósitron*

# Antimatéria

- A Equação de Dirac tem como resultado a existência da antimatéria e uma explicação mais fundamental para o spin
- O spin já era conhecido experimentalmente, porém uma antipartícula nunca havia sido observada. Como ela foi descoberta?

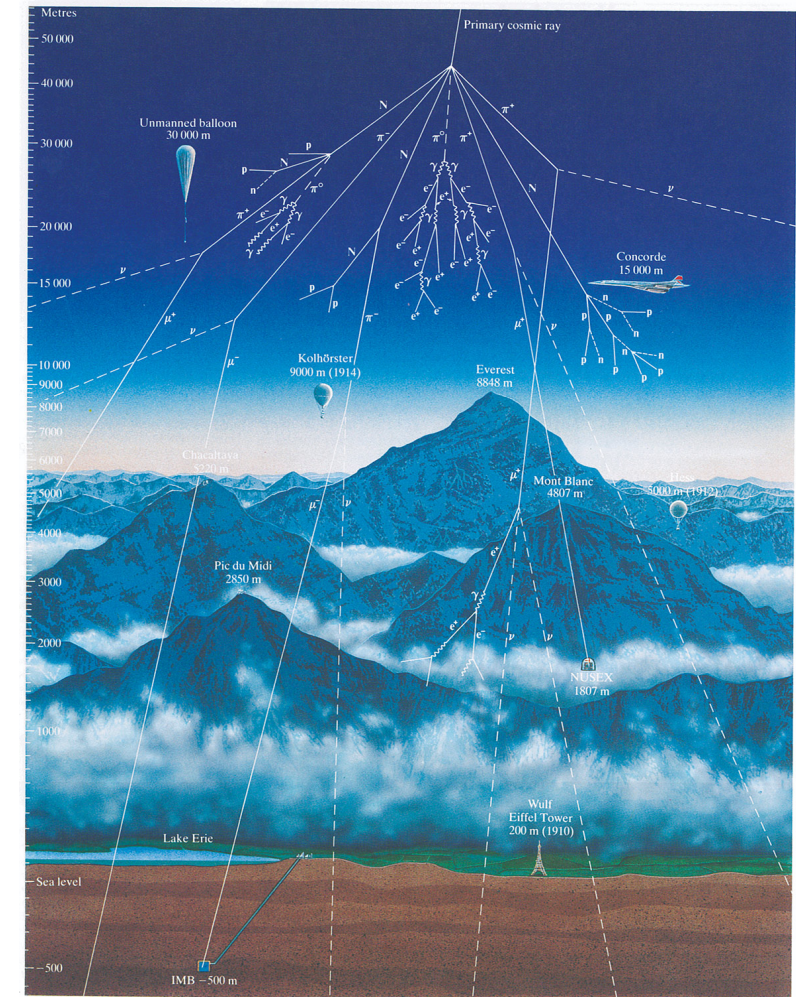
# Descoberta do Pósitron

- A primeira partícula de antimatéria descoberta foi o pósitron, que é o antielétron.
- Ela foi descoberta em 1932 por Carl D. Anderson, que recebeu o prêmio Nobel em 1936 por essa descoberta, enquanto ele realizava experimentos com raios cósmicos



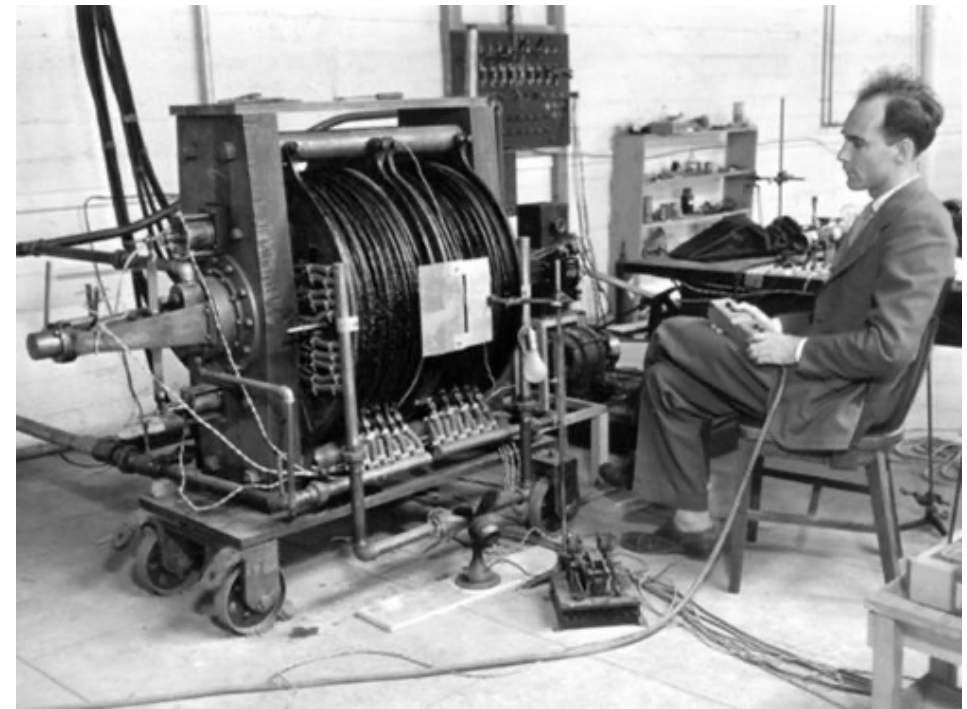
# Raios C3smicos

- Raios C3smicos s3o part3culas vindo do espaço, principalmente pr3tons, que interagem com a atmosfera e geram uma cascata ou chuva de outras part3culas
- Algumas dessas part3culas geradas no chuva chegam at3 o solo e podem ser medidas



# Experimento de Anderson

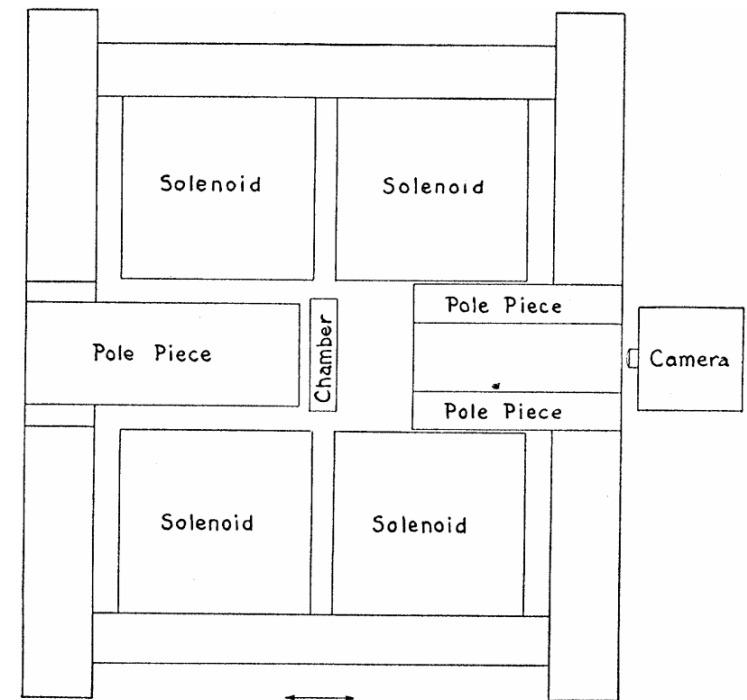
- Anderson queria medir a energia dos raios cósmicos, sem a intenção explícita de encontrar os pósitrons
- Para isso ele usou uma câmara de nuvens ou câmara de Wilson dentro de um imã solenoidal, que gerava um campo magnético na câmara



<https://www.caltech.edu/map/milestone/55>

# Experimento de Anderson

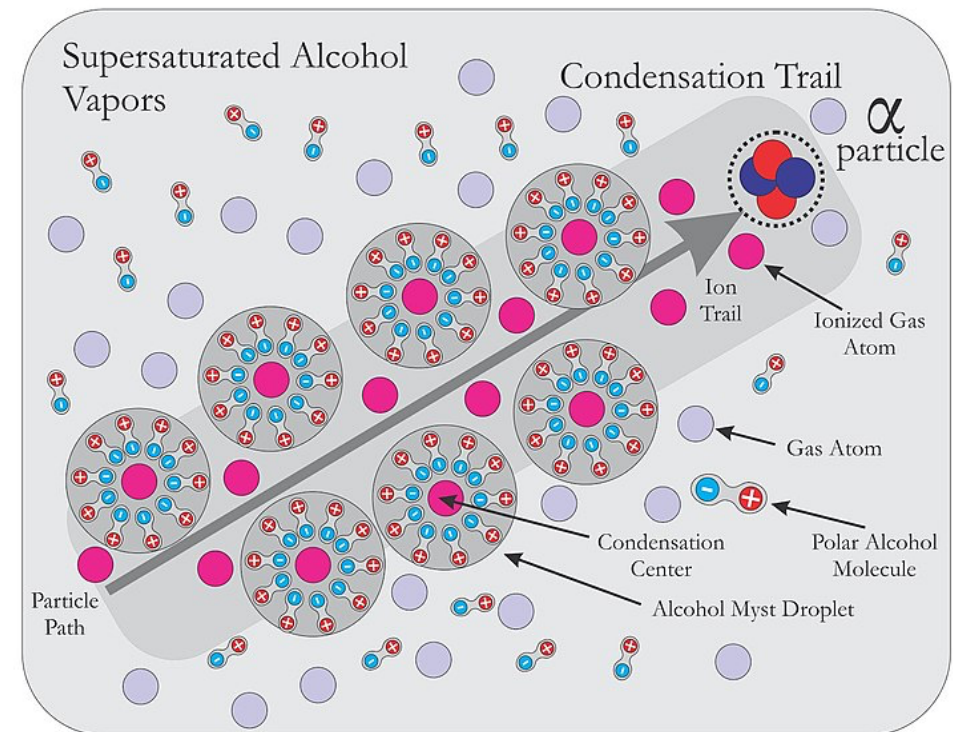
- Para isso ele usou uma câmara de nuvens ou câmara de Wilson dentro de um imã solenoidal, que gerava um campo magnético na câmara
- Com essa combinação, ele era capaz de medir a trajetória das partículas vindas do chuveiro cósmico e, pela curvatura dessas trajetórias no campo magnético, ele obtinha a rigidez magnética das partículas, ( $p/q$ , momento sobre a carga da partícula)



Carl D. Anderson, Physical Review Vol.44, 406 (1933)

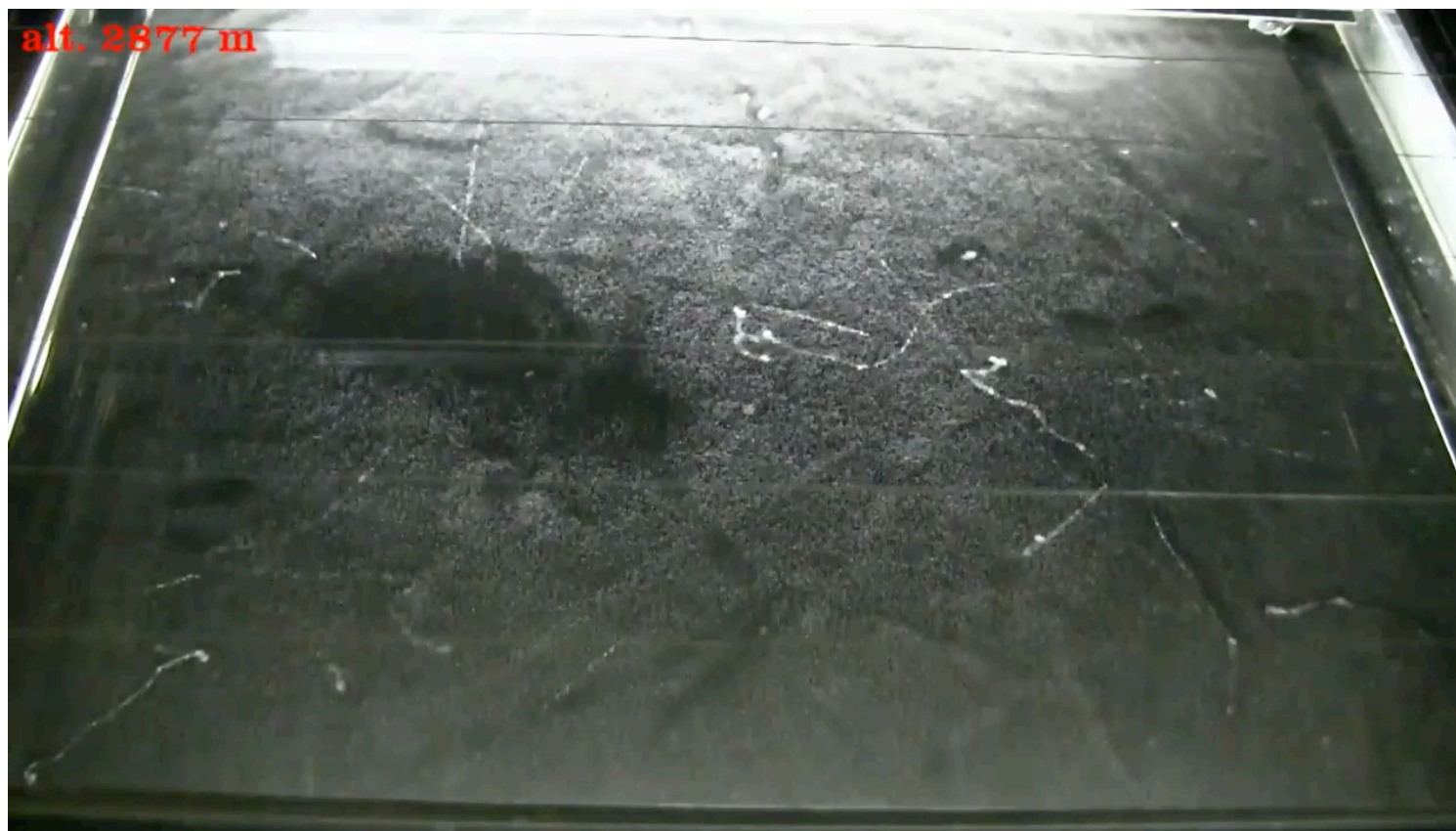
# A Câmara de Nuvens

- Sua invenção é creditada a Charles Thomson Rees Wilson, em 1894, por isso também é chamada de câmara de Wilson
- Ela consiste em um invólucro transparente selado com vapor supersaturado
- Ela registra a passagem de partículas carregadas devido à ionização das molécula de vapor, que criam centros de condensação



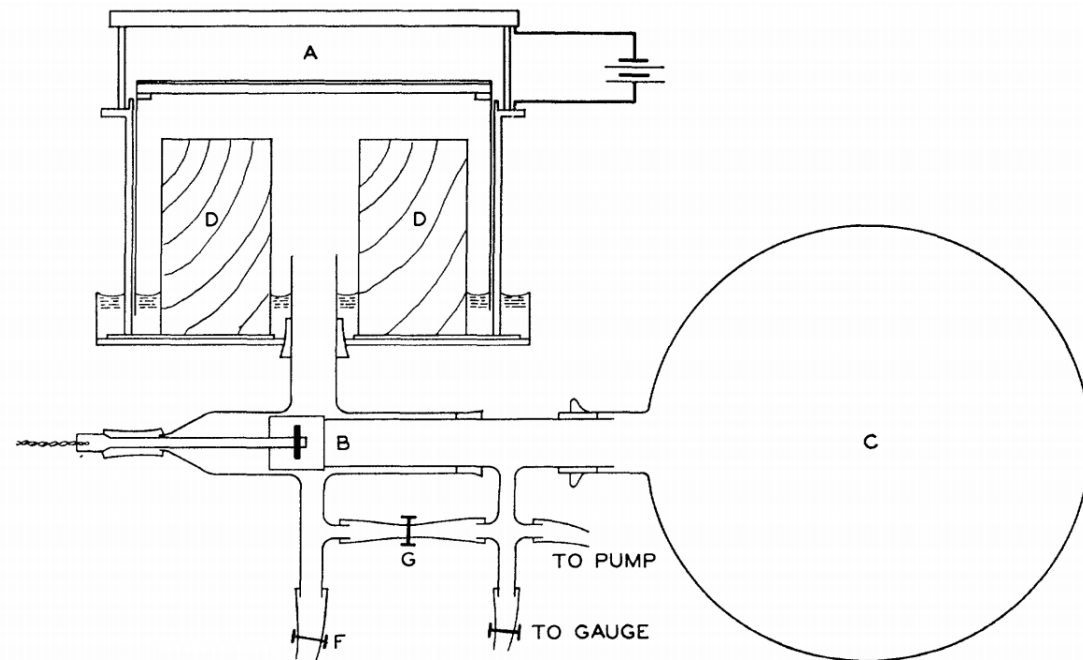
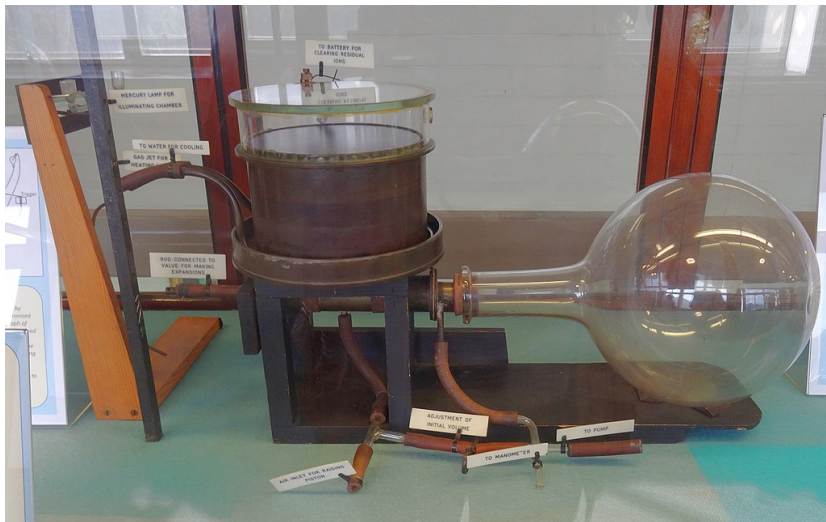
A. Stoev

# A Câmara de Nuvens





# A Câmara de Nuvens de Expansão

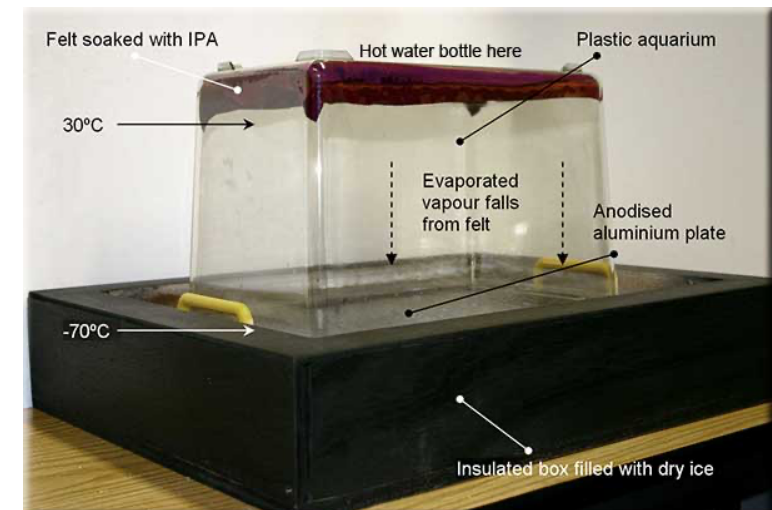
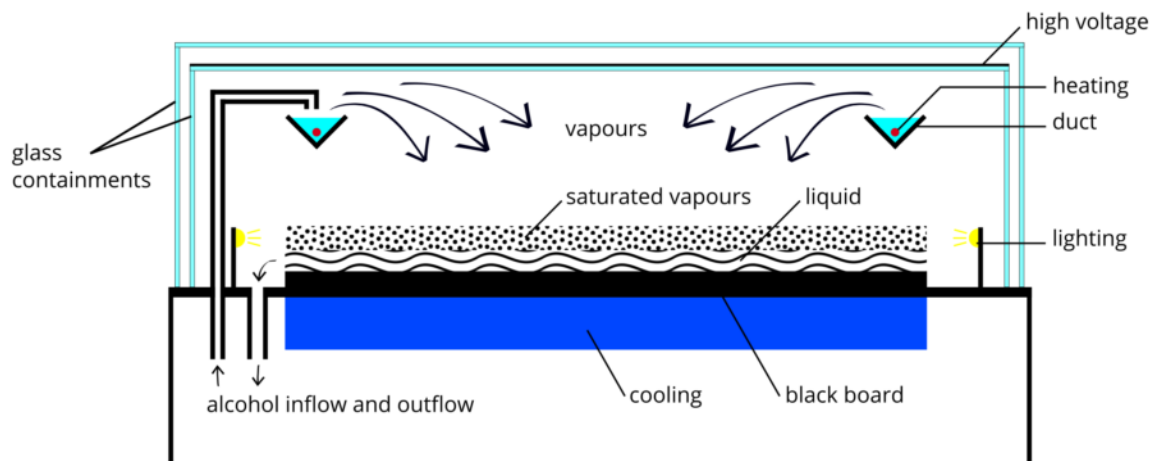


A WILSON EXPANSION-CHAMBER

(FROM C. T. R. WILSON'S ORIGINAL SKETCH. WHEN THE VALVE B IS OPENED THE AIR BENEATH THE GLASS PLATE UNDER A RUSHES INTO THE EVACUATED BULB C, AND THE PLATE DROPS ONTO THE BLOCKS D, INCREASING THE VOLUME OF A).

# A Câmara de Nuvens de Difusão

- De design mais simples, pode ser construída para atividades de demonstração

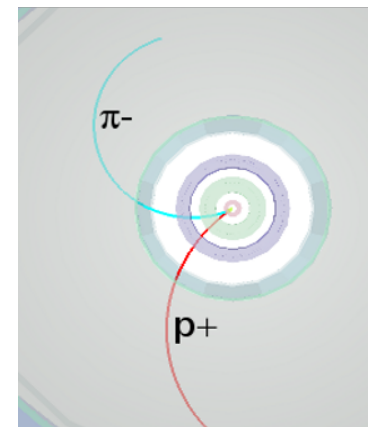


# Efeito do Campo Magnético

- O campo magnético é necessário para se medir o momento da partícula
- Seja a força de Lorentz  $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ , um campo magnético perpendicular à trajetória da partícula, gerará um movimento circular a partir de uma força centrípeta, ou seja:

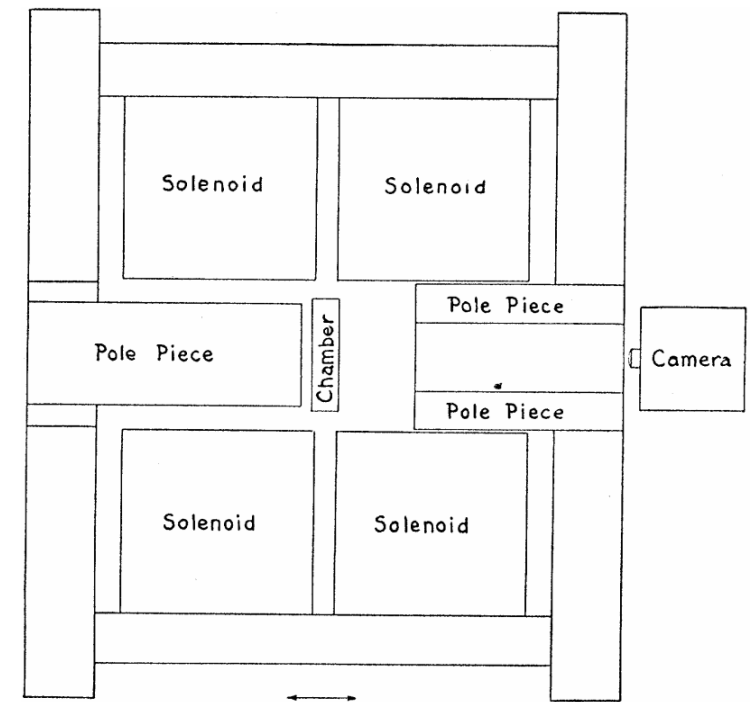
$$F = qvB \text{ e } F = ma = m\frac{v^2}{R}, \text{ que leva a:}$$

$$m\frac{v^2}{R} = qvB \Rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$



# Experimento de Anderson

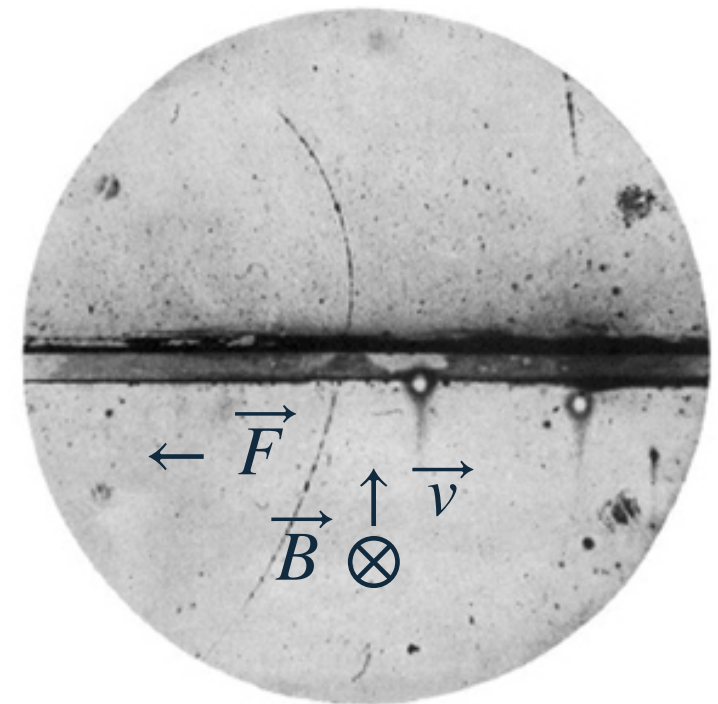
- Com um gerador de 425 kW (que consumia 10% de toda a energia de Caltech), ele gerava um campo de 1,7 T
- Para registrar as trajetórias, ele tirou 1600 fotos da câmara de nuvens.
- Como ele usava uma câmara de expansão que ficava ativa apenas 0,025 s, na verdade ele observou apenas 40 s de funcionamento da câmara



Carl D. Anderson, Physical Review Vol.44, 406 (1933)

# A descoberta do Pósitron

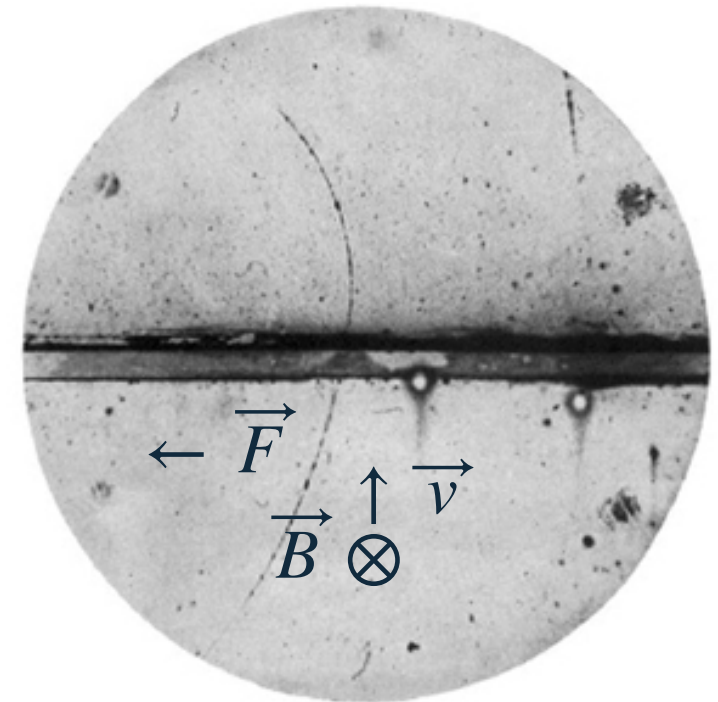
- Para determinar se a partícula estava vindo de cima ou de baixo, ele colocou uma placa de chumbo de 6 mm no centro da câmara
- A partir da direção do campo magnético aplicado, ele concluiu que esta foto corresponde a uma partícula se movendo para cima (perde energia na placa) e, portanto, positivamente carregada



Carl D. Anderson, Physical Review Vol.43, p491 (1933)

# A descoberta do Pósitron

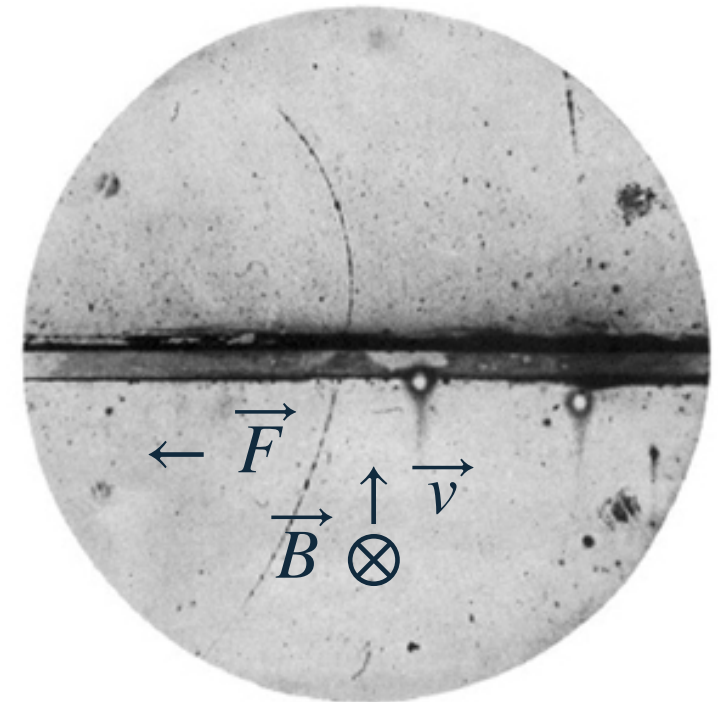
- Anderson colocou 4 hipóteses para explicar essa foto:
  - A partícula é um próton
  - São dois elétrons de energias diferentes se movendo para baixo
  - A trajetória é de um elétron se movendo para baixo mas que ganhou energia
  - A partícula é um elétron positivo



Carl D. Anderson, Physical Review Vol.43, p491 (1933)

# A descoberta do Pósitron

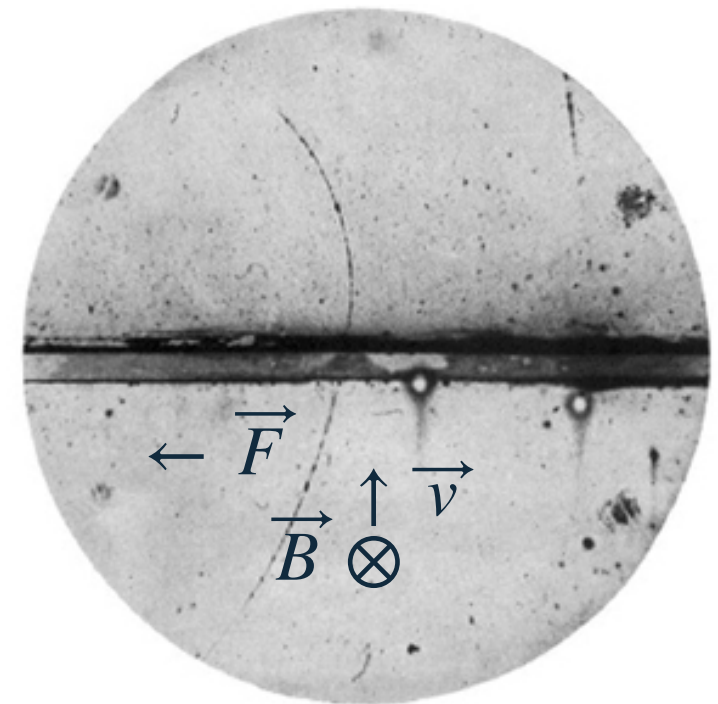
- A partícula é um próton
  - Caso essa partícula fosse um próton, sua energia seria de aproximadamente 300 keV
  - Com essa energia, o próton perderia muita energia na câmara de nuvens e teria uma trajetória bem mais curta



Carl D. Anderson, Physical Review Vol.43, p491 (1933)

# A descoberta do Pósitron

- São dois elétrons de energias diferentes se movendo para baixo
  - Neste caso, seria necessário ter um elétron que, coincidentemente, atingiu a placa no mesmo ponto em que outro elétron, de maior energia, foi emitido
  - Um processo muito pouco provável!

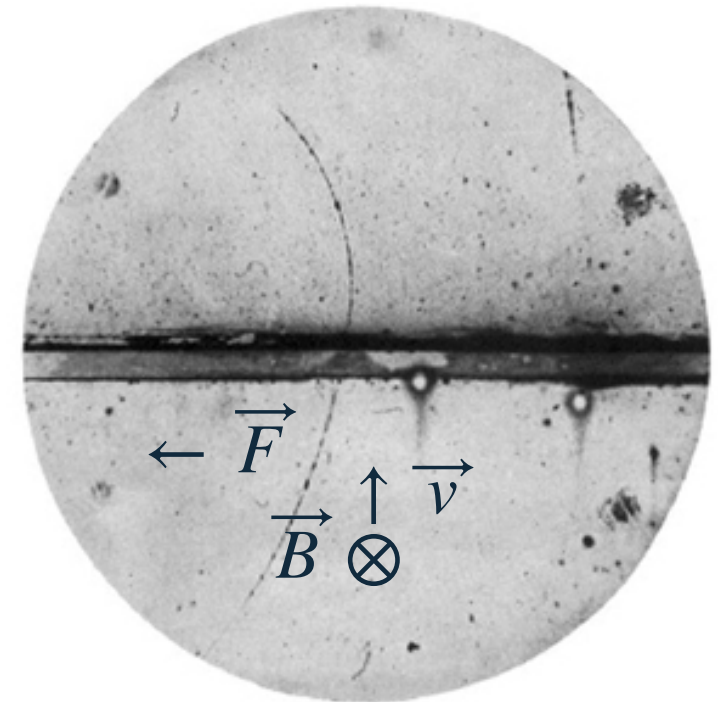


Carl D. Anderson, Physical Review Vol.43, p491 (1933)



# A descoberta do Pósitron

- A trajetória é de um elétron se movendo para baixo mas que ganhou energia
  - Nenhum processo que poderia fornecer energia ao elétron pode ser identificado
- Portanto, só pode ser um elétron positivo, o pósitron previsto por Dirac!



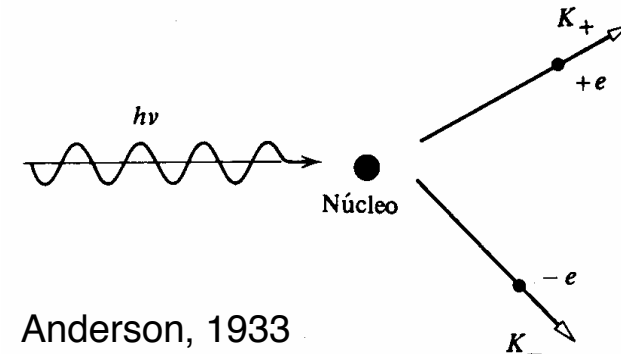
Carl D. Anderson, Physical Review Vol.43, p491 (1933)

# Paul Blacket e Giuseppe Occhialini

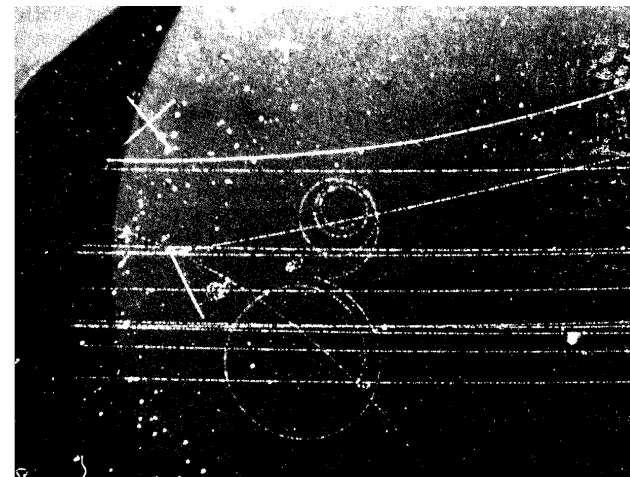
- Repetiram o experimento de Anderson, mas de forma mais eficiente (usando um contador Geiger como *trigger*)
- Eles sugerem que o mecanismo de criação dos pósitrons é a produção de pares

# Produção de pares

- Fótons produzem um par elétron-pósitron (conservação de carga) a partir da sua interação com o núcleo atômico (conservação de momento e energia)
- Esse processo precisa respeitar as diversas leis de conservação da natureza

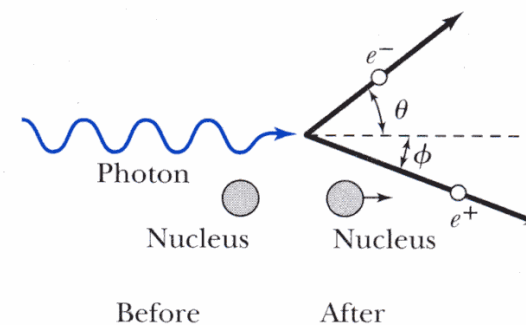
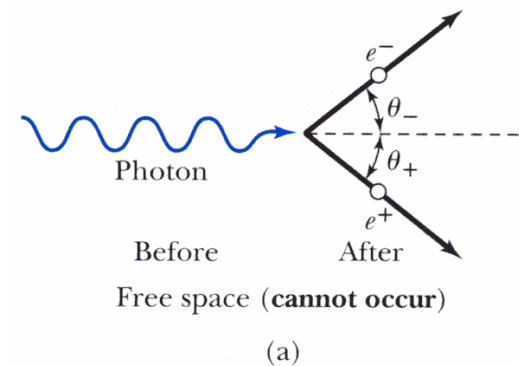


Anderson, 1933



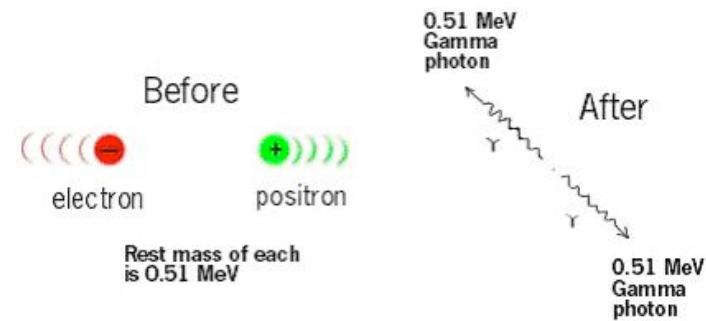
# Produção de pares

- A única maneira desse processo conservar momento e energia é se o núcleo atômico estiver presente e absorver parte da energia e momento do fóton



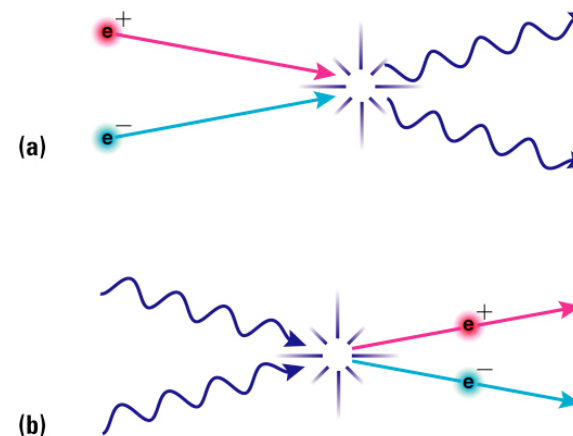
# Aniquilação de pares

- O processo inverso também pode ocorrer: um elétron e um pósitron podem se aniquilar produzindo fótons



# Produção e aniquilação de pares

- Podemos enxergar a produção e aniquilação de pares como sendo as duas “faces” do mesmo processo



Copyright © Addison Wesley

# Interações

- A equação de Dirac consegue avançar na conciliação da física quântica com a relatividade
- Porém, ela não avança no entendimento da estabilidade (e instabilidade, ou seja, decaimentos) do núcleo
- Qual é o mecanismo responsável pela atração entre prótons e nêutrons que mantém o núcleo estável? E como se dá o processo de decaimento?
- Como conciliar esses mecanismos com a física quântica e a relatividade?