

Die Entdeckung des Positrons

Schlüsselexperimente der Teilchenphysik

Freerik Forndran

Universität Heidelberg

6. November 2015

Inhaltsverzeichnis

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der Spuren
Interpretation der Spuren

1 Einleitung

- Historisches
- Theoretische Vorhersage
- Experiment

2 Entdeckung des Positrons

- Grundlagen
- Anderson
- Blackett und Occhialini

3 Analyse und Interpretation

- Analyse der Spuren
- Interpretation der Spuren

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

- Historisches
- Theoretische
- Vorhersage
- Experiment

Entdeckung des Positrons

- Grundlagen
- Anderson
- Blackett und
- Occhialini

Analyse und Interpretation

- Analyse der
- Spuren
- Interpretation der
- Spuren

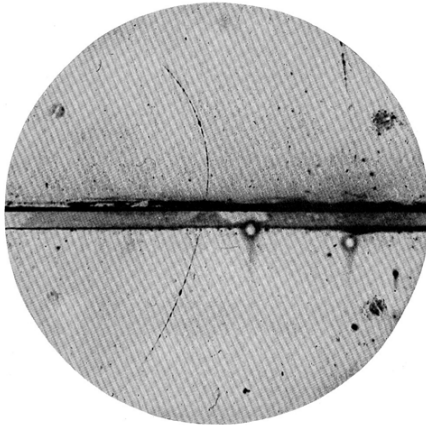


Abbildung: Erster Nachweis des Positrons [Phys. Rev. vol. 43 S. 492]

Geschichte der Quantenmechanik

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- 1900: Planck'sche Strahlungsgesetz
- 1913: Bohr'sches Atommodell
- 1924: Theorie zu Materiewellen (De-Broglie)
- 1925: Schrödingergleichung
- 1927: Heisenberg'sche Unschärferelation
- 1928: Diractheorie (Vorhersage des Positrons)
- 1932: Entdeckung durch C. D. Anderson

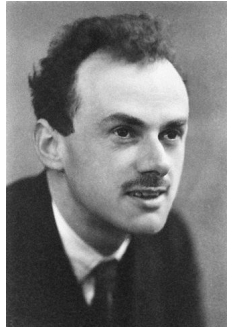


Abbildung: Paul Dirac (1933) [1]

Diractheorie

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung
Historisches
**Theoretische
Vorhersage**
Experiment

Entdeckung des
Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation
Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

Motivation:

- Schrödingertheorie gilt nur für langsame Teilchen ($v \ll c$)
- Ausgangspunkt war rel. Energie-Impuls-Beziehung $E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4$
- Verbindung zur SRT zunächst durch die Klein-Gordon-Gleichung $\Rightarrow$ negative Energielösungen (Strahlungskatastrophe)
- Dirac wollte negative Energielösungen verhindern

Diractheorie

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
**Theoretische
Vorhersage**
Experiment

Entdeckung des
Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- rel. Wellengleichung für Teilchen mit Spin $\frac{1}{2}$
(Diracgleichung)

$$(i\hbar\gamma^\mu\partial_\mu - mc)\psi = 0$$

$\Rightarrow$ negative Energielösungen

Lösung:

- Vakuum als volle Besetzung der negativen Zustände (Diracsee)
- Löcher im Diracsee (Anregung) werden als positive Ladungen identifiziert (Positron)

Diractheorie

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
**Theoretische
Vorhersage**
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

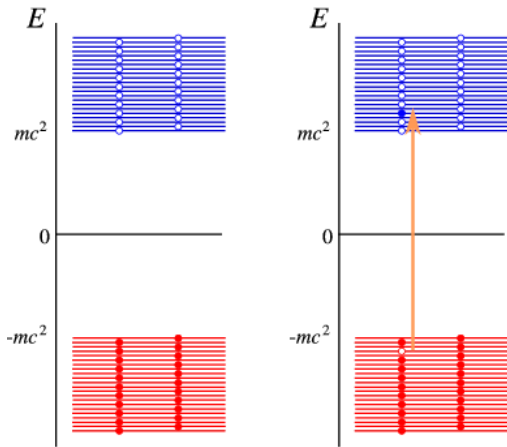


Abbildung: Diracsee [oer.physics.manchester.ac.uk]

Experiment

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Anderson untersucht ab 1930 kosmische Strahlung (Nebelkammer)
- Veröffentlichung der Entdeckung des Positrons (1. September 1932)
- Nobelpreis 1936 zusammen mit Victor Hess
- 1936 Entdeckung des Myon (μ^-)



Abbildung: Carl
David Anderson [1]

Experiment

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- untersuchten zeitgleich mit Anderson kosmische Strahlung
- Entwicklung der getriggerten Nebelkammer
- Bestätigung von Andersons Ergebnissen (1933)



Abbildung: Patrick M. S. Blackett [1]



Abbildung: Giuseppe Occhialini [1]

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

- Historisches
- Theoretische
- Vorhersage
- Experiment

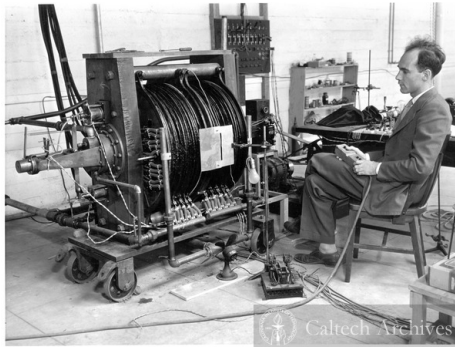
Entdeckung des Positrons

- Grundlagen
- Anderson
- Blackett und Occhialini

Analyse und Interpretation

- Analyse der Spuren
- Interpretation der Spuren

Entdeckung des Positrons



Anderson am Elektromagneten [caltech.discoverygarden.ca]

Kosmische Strahlung

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen

Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Entdeckung durch Victor Hess 1912 (Höhenstrahlung), auf der Suche nach einer Erklärung für Radioaktivität
- Primärstrahlung
 - überwiegend vollständig ionisierte Atomkerne (Protonen, α -Teilchen)
 - Elektronen
- Energien bis zu 10^{20} eV
- konnte nur Sekundärstrahlung nachweisen
- ein Primärteilchen kann für bis zu 10^{11} Sekundärteilchen verantwortlich sein

Kosmische Strahlung

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen

Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

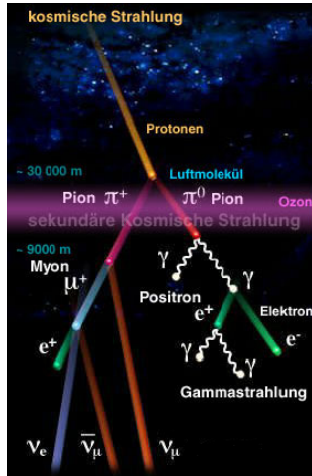


Abbildung: Kosmische Strahlung [ieap.uni-kiel.de]

Geiger-Müller-Zählrohr

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des
Positrons

Grundlagen

Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- ionisierende Strahlung löst Elektronen aus Gasatomen
- kurzzeitiger Stromfluss zwischen Anode und Kathode

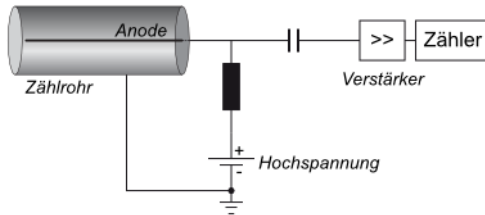


Abbildung: Geiger-Müller-Zähler [lp-uni-goettingen.de]

Expansionsnebelkammer

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen

Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Expansionsnebelkammer damals High-Tech, neben Geiger-Müller-Zähler zum Nachweis ionisierender Strahlung genutzt
- ca. 1896 von Charles Wilson erfunden (1927 Nobelpreis)

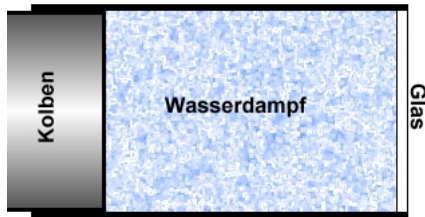


Abbildung: Expansionsnebelkammer
[erlangen.physicsmasterclasses.org]

Expansionsnebelkammer

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen

Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Vergrößerung des Volumens auf das ca. 1,3-fache
- adiabatische Zustandsänderung führt zur Übersättigung des Gases
- kosmische Strahlung ionisiert Gasmoleküle (Kondensationskeime)
- durch Lichteinstrahlung werden die sich bildenden Tröpfchen sichtbar

Aufbau

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

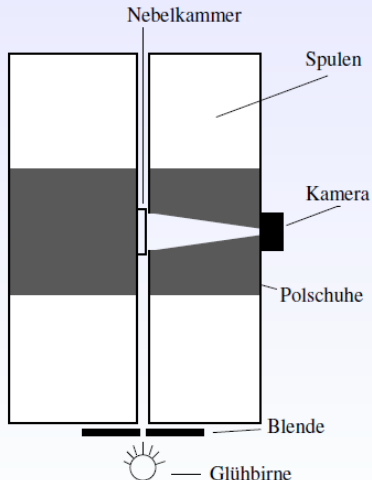
Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren



- Magnetfeld bis zu 25.000 Gauss
- 1.300 Aufnahmen, 15 mit Positronen
- 6 mm dicke Bleiplatte in der Nebelkammer
- 14 cm Durchmesser und 1 cm tief

[iktp.tu-dresden.de]

Aufbau

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

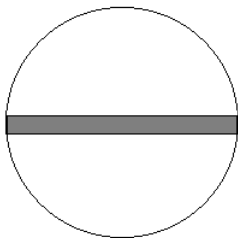
Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren



- Magnetfeld bis zu 25.000 Gauss
- 1.300 Aufnahmen, 15 mit Positronen
- 6 mm dicke Bleiplatte in der Nebelkammer
- 14 cm Durchmesser und 1 cm tief

Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des
Positrons

Grundlagen
Anderson

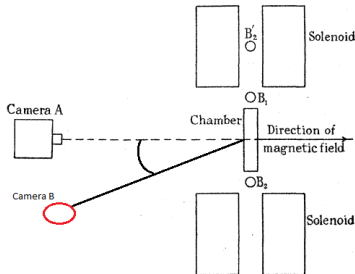
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- schlechte Ausbeute (Anderson: eine brauchbare Spur in 50 Aufnahmen)
- Idee: nur Aufnahme, wenn Teilchen in der Kammer
- Erweiterung des Aufbaus um zwei Geiger-Müller-Zähler

Bild aus [Proc. Roy. Soc. vol. 139 (1933) S.717]



- Magnetfeld bis zu 3.000 Gauss

Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des
Positrons

Grundlagen
Anderson

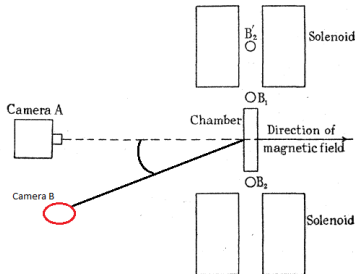
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- schlechte Ausbeute (Anderson: eine brauchbare Spur in 50 Aufnahmen)
- Idee: nur Aufnahme, wenn Teilchen in der Kammer
- Erweiterung des Aufbaus um zwei Geiger-Müller-Zähler

Bild aus [Proc. Roy. Soc. vol. 139 (1933) S.717]



- Magnetfeld bis zu 3.000 Gauss
- nicht nur Blei, sondern auch Kupfer und Wolfram

Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des
Positrons

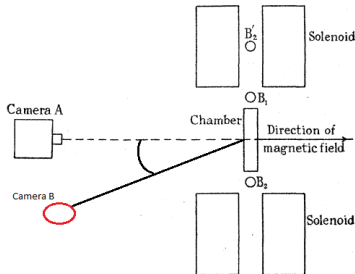
Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- schlechte Ausbeute (Anderson: eine brauchbare Spur in 50 Aufnahmen)
- Idee: nur Aufnahme, wenn Teilchen in der Kammer
- Erweiterung des Aufbaus um zwei Geiger-Müller-Zähler

Bild aus [Proc. Roy. Soc. vol. 139 (1933) S.717]



- Magnetfeld bis zu 3.000 Gauss
- nicht nur Blei, sondern auch Kupfer und Wolfram

Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
**Blackett und
Occhialini**

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

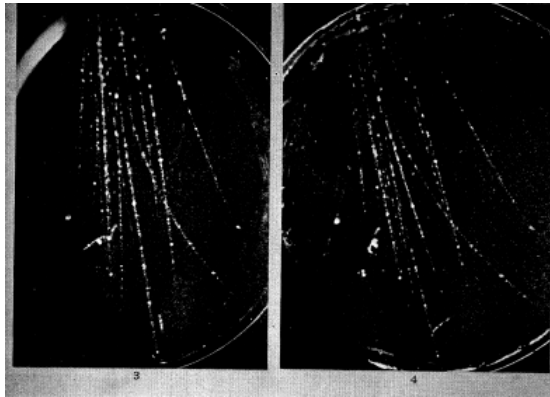


Abbildung: Nebelkammeraufnahmen rechts A, links B [Proc. Roy. Soc. vol. 139 (1933) S.721]

Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

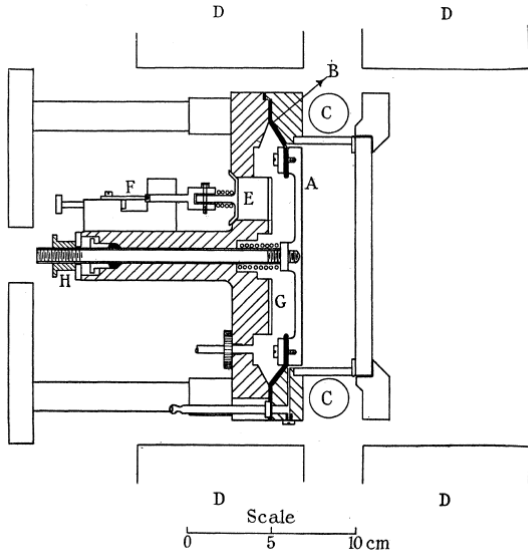
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson

Blackett und Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren



Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
**Blackett und
Occhialini**

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Nebelkammer, sowie der Raum dahinter auf 1,7 Atmosphären
- nur wenn das Teilchen beide Zähler ausgelöst hat findet die Expansion statt
- Auslöser F löst das Ventil E $\rightarrow$ Luft strömt heraus und der Kolben A bewegt sich (Expansion)
- Zeitraum vom Signal der Zähler bis zum Ende der Expansion $\sim \frac{1}{100}$ s

$\Rightarrow$ 80% der Aufnahmen enthalten Teilchenspuren

Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

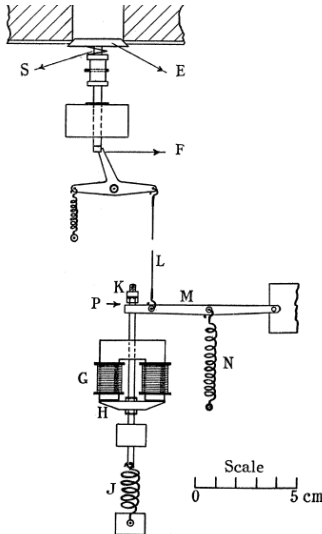
Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren



- Ventil E und Auslöser F
- ① elektrischer Impuls der Zähler schließt den Magneten G kurz
- ② Armatur H löst sich
- ③ Bewegung von H überträgt sich auf L und das Ventil öffnet sich

[Bilder aus Proc. Roy. Soc. vol 146 (1934) S.281-299]

Getriggerte Nebelkammer

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

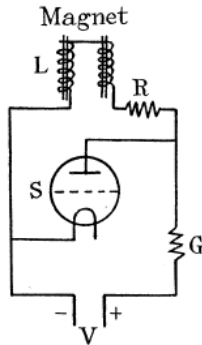
Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren



- funktioniert wie eine Sicherung; zu hohe Ströme führen zum Kurzschluss
- Thyatron S erzeugt den Kurzschluss

Abbildung: Schaltkreis [Proc. Roy. Soc. vol 146 (1934) S.288]

Thyratron

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

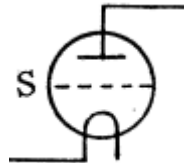
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
**Blackett und
Occhialini**

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- gasgefüllte Kammer
- Spannung am Gitter verhindert das Entladen des Gases
- elektrischer Impuls am Gitter sorgt für Entstehen von leitendem Plasma $\Rightarrow$ hoher Strom im Schaltkreis



Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

- Historisches
- Theoretische
- Vorhersage
- Experiment

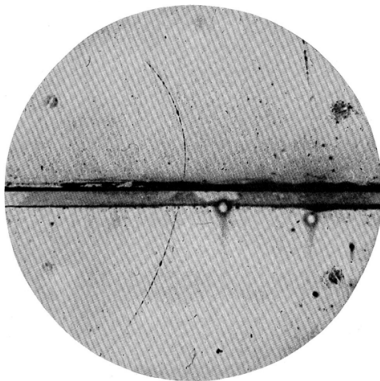
Entdeckung des Positrons

- Grundlagen
- Anderson
- Blackett und
- Occhialini

Analyse und Interpretation

- Analyse der
- Spuren
- Interpretation der
- Spuren

Analyse und Interpretation



Analyse

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des
Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation

**Analyse der
Spuren**

Interpretation der
Spuren

Welche Informationen stecken in den Aufnahmen?

- **Ladung** aus der Ablenkrichtung im Magnetfeld
- **Krümmung** aus Krümmungsradius und Magnetfeld
- **Energieverlust** aus
 - Änderung des Radius
 - Reichweite
 - Ionisation

Ladung

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

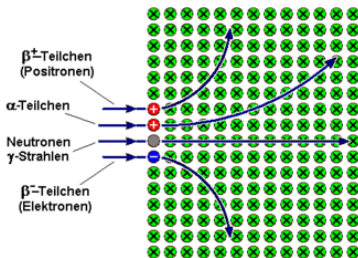
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Die Ablenkrichtung im Magnetfeld legt die Ladung fest (Lorentz-Kraft)



$$\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

(Drei-Finger-Regel)

Abbildung: Ablenkung im
Magnetfeld [1]

Krümmung

Die Entdeckung
des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des
Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und
Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Die Krümmung liefert das Verhältnis aus Impuls und Ladung

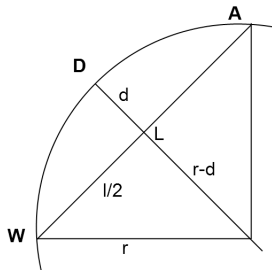
$$|\vec{F}_L| = |\vec{F}_Z| \Leftrightarrow qvB = \frac{mv^2}{\rho} \Rightarrow B \cdot \rho = \frac{mv}{q} \hat{=} \frac{p}{q}$$

Bestimmung des Radius ρ ($\frac{l}{2} \equiv \lambda$):

$$(r-d)^2 + \lambda^2 = r^2 \text{ (Pythagoras)}$$

$$\Rightarrow \rho = r = \frac{d^2 + \lambda^2}{2d}$$

[1]



Reichweite/Ionisation

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der Spuren

Interpretation der
Spuren

- Teilchen verlieren durch Stöße Energie
- Reichweiten waren bekannt (Bethe-Bloch-Gleichung)

Bilder aus Proc. Roy. Soc. (1933) vol. 139 S. 699-726

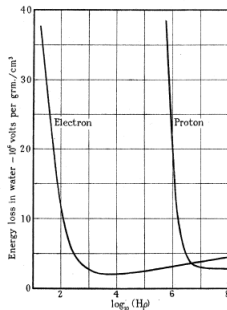


FIG. 1.

Table I.—Relation between $H\rho$, Velocity and Range of Protons and Alpha-Particles.

$H\rho \times 10^{-5}$ gauss-cm.	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Protons—					
Velocity $\times 10^{-8}$ cm./sec.	0.48	0.96	1.92	2.87	3.83
Range, cm. air 15° C.	0.19	1.0	6.9	25.7	69.7
Alpha-particles—					
Velocity $\times 10^{-8}$ cm./sec.	0.12	0.24	0.49	0.72	0.97
Range, cm. air 15° C.	0.05	0.13	0.35	0.64	1.1

Reichweite/Ionisation

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der Spuren

Interpretation der
Spuren

- langsame Teilchen ionisieren mehr Gasatome
⇒ dickere Linien in den Aufnahmen
- zwei Teilchen mit gleicher Krümmung, aber
unterschiedlicher Masse ionisieren verschieden

Reichweite/Ionisation

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der Spuren

Interpretation der
Spuren

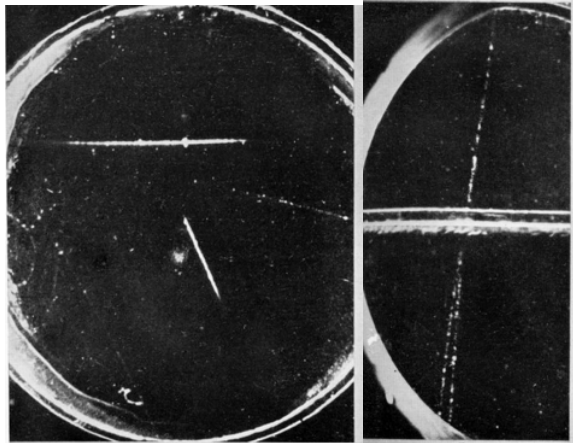


Abbildung: Teilchenspuren [Proc. Roy. Soc. (1933) vol. 139 S. 699-726]

Erster Nachweis

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

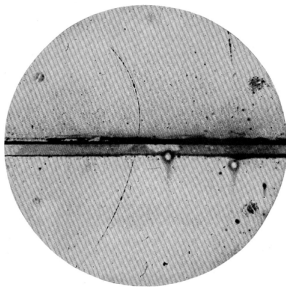
Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren



- Aufnahme bei 15.000 Gauss ($\hat{=}$ 1,5 Tesla)
- untere Hälfte:
 $\rho = 14\text{cm} \Rightarrow B\rho = 2,1 \cdot 10^5$
Gauss·cm
- obere Hälfte:
 $\rho = 5\text{cm} \Rightarrow B\rho = 7,5 \cdot 10^4$
Gauss·cm

Erste Möglichkeit

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

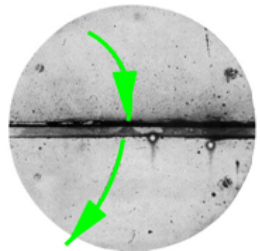
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- **zwei geladene Teilchen** hinterlassen zufällig eine Spur, die so aussieht als stamme sie von einem Teilchen
- **ist auszuschliessen**, da solche scharfen Spuren nur einmal in 500 Aufnahmen auftauchten $\Rightarrow$ unwahrscheinlich, dass zwei Teilchen so eine Spur hinterlassen



Erste Möglichkeit

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

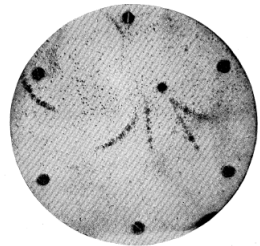
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- **zwei geladene Teilchen** hinterlassen zufällig eine Spur, die so aussieht als stamme sie von einem Teilchen
- **ist auszuschliessen**, da solche scharfen Spuren nur einmal in 500 Aufnahmen auftauchten $\Rightarrow$ unwahrscheinlich, dass zwei Teilchen so eine Spur hinterlassen



Zweite Möglichkeit

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

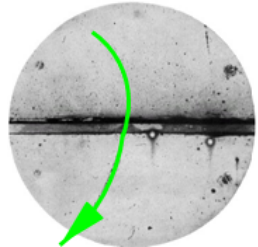
Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren

Interpretation der
Spuren

- ein **Elektron** trifft mit 20 MeV auf die Platte und verlässt sie mit 60 MeV
- ist auszuschliessen, da kein Teilchen Energie gewinnt wenn es Materie durchquert



Zweite Möglichkeit

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

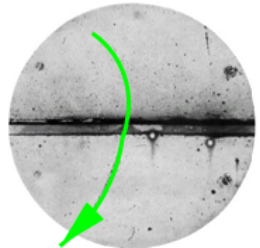
Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren

Interpretation der
Spuren

- ein **Elektron** trifft mit 20 MeV auf die Platte und verlässt sie mit 60 MeV
- **ist auszuschliessen**, da kein Teilchen Energie gewinnt wenn es Materie durchquert



Dritte Möglichkeit

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

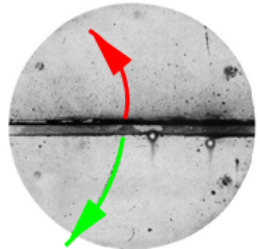
Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren

Interpretation der
Spuren

- ein **Photon** löst in der Bleiplatte eine Reaktion aus, sodass **zwei Teilchen** in entgegengesetzter Richtung die Platte verlassen



Vierte Möglichkeit

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

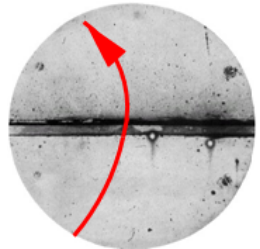
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- **ein positives Teilchen** kleiner Masse durchquert die Platte und verliert ca. $\frac{2}{3}$ seiner Energie
- beide Möglichkeiten führen zur Existenz eines positiven Teilchens mit deutlich kleinerer Masse als das Proton



Vierte Möglichkeit

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

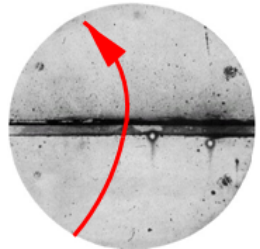
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- **ein positives Teilchen**
kleiner Masse durchquert die
Platte und verliert ca. $\frac{2}{3}$
seiner Energie
- **beide Möglichkeiten** führen
zur Existenz eines positiven
Teilchens mit deutlich
kleinerer Masse als das
Proton



Interpretation

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

Warum muss es ein leichtes Teilchen sein und kein Proton?

- Proton hat eine bekannte Masse
⇒ ein Proton mit $B \cdot \rho = 7,5 \cdot 10^4$ Gauss·cm hätte Energie von 300keV
- Reichweite nur 5 mm statt 5 cm

⇒ **leichtes, positiv geladenes Teilchen** mit Masse kleiner als $20m_e$

Interpretation

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Vergleich der Ionisationen $\Rightarrow$ Ladung vom Betrag nicht größer als $2e$
- Verlust von $\frac{2}{3}$ der Ausgangsenergie in 6 mm Blei (schwere Teilchen verlieren mehr Energie)
- Energieverlust für Elektronen ähnlich ($63 \frac{\text{MeV}}{\text{cm}}$) $\Rightarrow$ Masse etwa eine Elektronenmasse und Ladung etwa eine Elementarladung

$\Rightarrow$ Somit ist die Existenz von positiv geladenen Teilchen, die leichter sind als Protonen bewiesen

Zusammenfassung

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

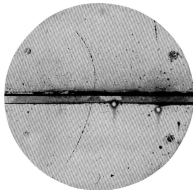
Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Entdeckung von Teilchen mit etwa einer positiven Elementarladung und etwa einer Elektronenmasse



- Teilchen mit 63 MeV durchquert eine 6 mm dicke Bleiplatte und verlässt diese mit 23 MeV

- Blackett und Occhialini stellten Zusammenhang zur Dirac-Theorie her

⇒ **Positron**

Andersons Interpretationen

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Elektron sei aus Symmetriegründen Negatron zu nennen
- Neutron = Proton + Elektron
- Proton = Neutron + Positron
 $\Rightarrow$ negatives Proton = Neutron + Elektron

Abschluss

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

Schlusswort

Die Entdeckung des Positrons war Zufall, zeigt aber dennoch den rasanten Fortschritt der “neuen Physik”(Quantenmechanik), die es innerhalb von wenigen Jahren geschafft hat, die unglaubliche Hypothese der Antimaterie experimentell zu bestätigen.

Quellen

Die Entdeckung des Positrons

Freerik Forndran

Einleitung

Historisches
Theoretische
Vorhersage
Experiment

Entdeckung des Positrons

Grundlagen
Anderson
Blackett und
Occhialini

Analyse und Interpretation

Analyse der
Spuren
Interpretation der
Spuren

- Carl Anderson, *The Positive Electron*, Physical Review 43 (1933) S.491
- Carl Anderson, *The apparent existence of easily deflectable positives*, Science 76 (1932) S. 238
- P. Blackett/G. Occhialini, *Some Photographs of the Tracks of Penetrating Radiation*, Proc. Roy. Soc. 139 (1933) S. 699
- P. Blackett, *On the Technique of the Counter Controlled Cloud Chambers*, Proc. Roy. Soc. 146 (1934) S. 281
- S. Niese, *Die Entdeckung der kosmischen Strahlung*, Katalog der deutschen Nationalbibliothek dnb.de (2012)
- G. Wolschin *Relativistische Quantenmechanik*, Skript (2014) wolschin.uni-hd.de
- [1] Bilder von wikipedia.org