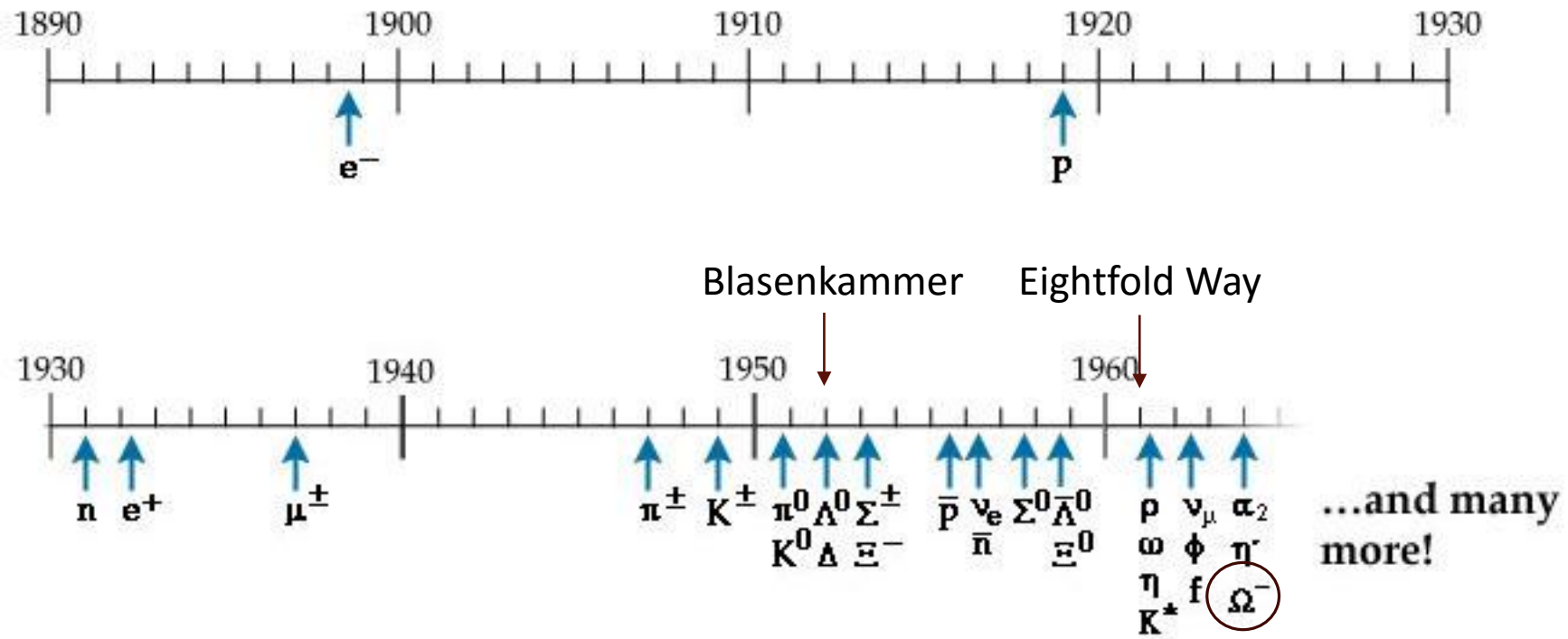


Entdeckung des Omega-Minus

SCHLÜSSELEXPERIMENTE DER TEILCHENPHYSIK

DANIEL BAITINGER

Historische Einordnung



<http://particleadventure.org/german/other/history/quantumt.html>

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way

2. Das Experiment

1. Forschergruppe
2. Synchrotron
3. Blasenkammer
4. Ablauf

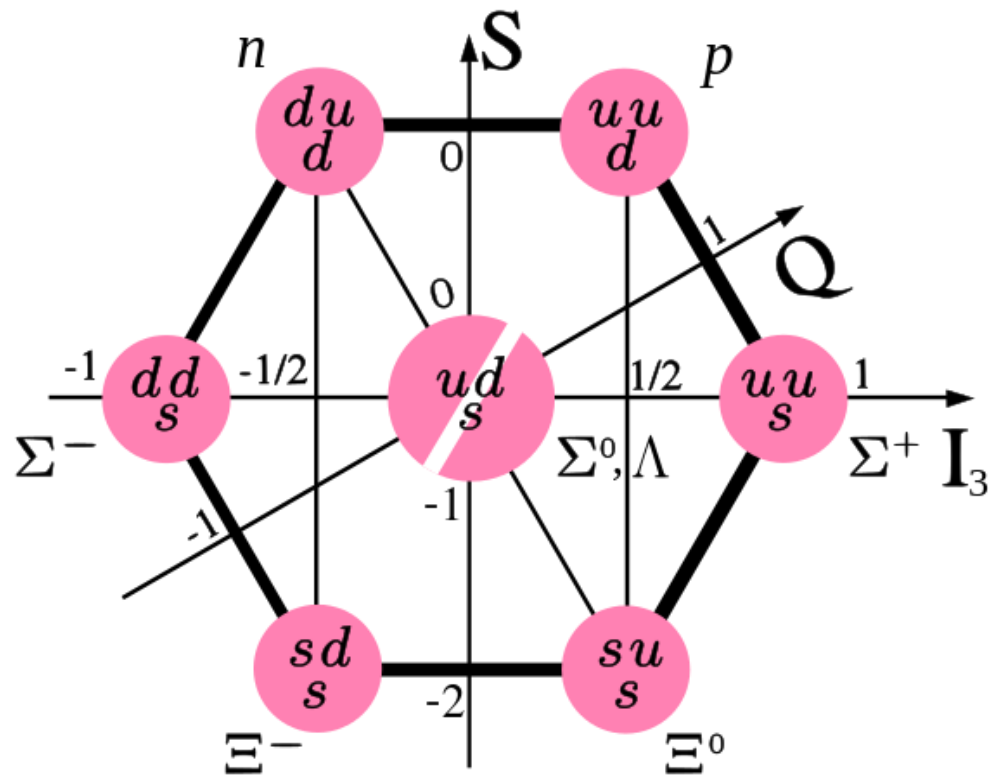
3. Omega-Minus Ereignis

1. Spurenanalyse
2. Ergebnis

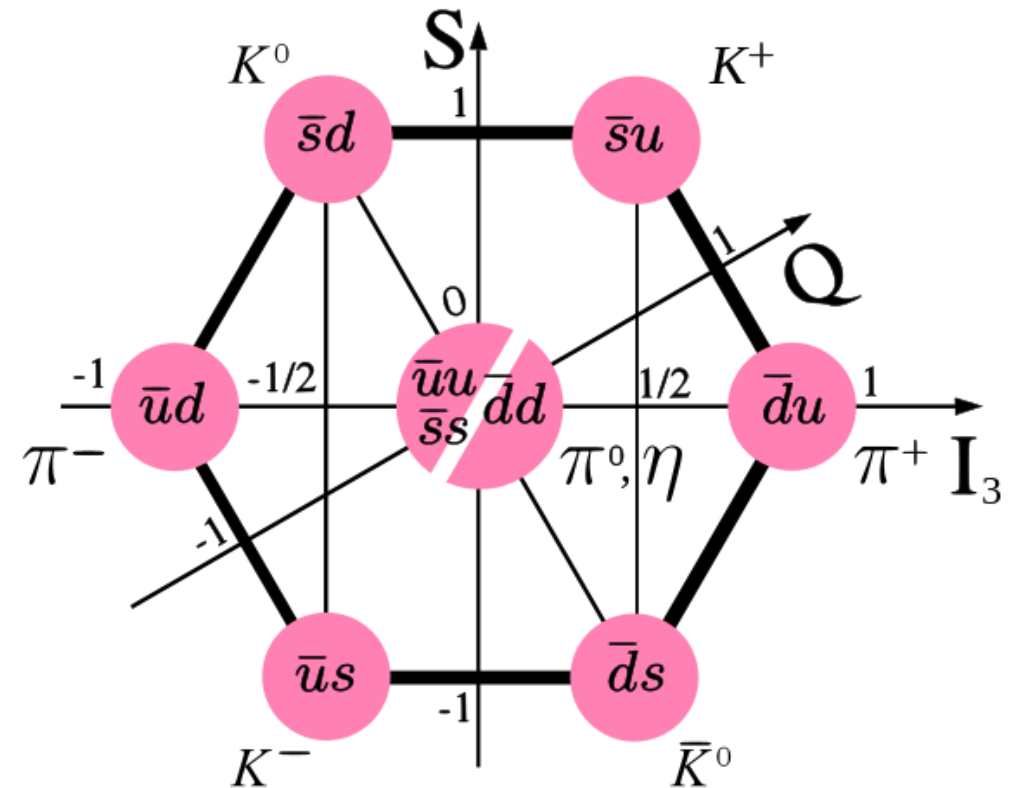
The Eightfold Way

- 1961 von Murray Gell-Mann und Yuval Ne'eman vorgeschlagen
- Ziel: Ordnung ins Teilchenchaos bringen
- Gruppiert nach Spin, Isospin, Ladung und Strangeness
- SU(3)-Gruppe

Baryonen-Oktett, Spin 1/2



Mesonen-Oktett, Spin 0

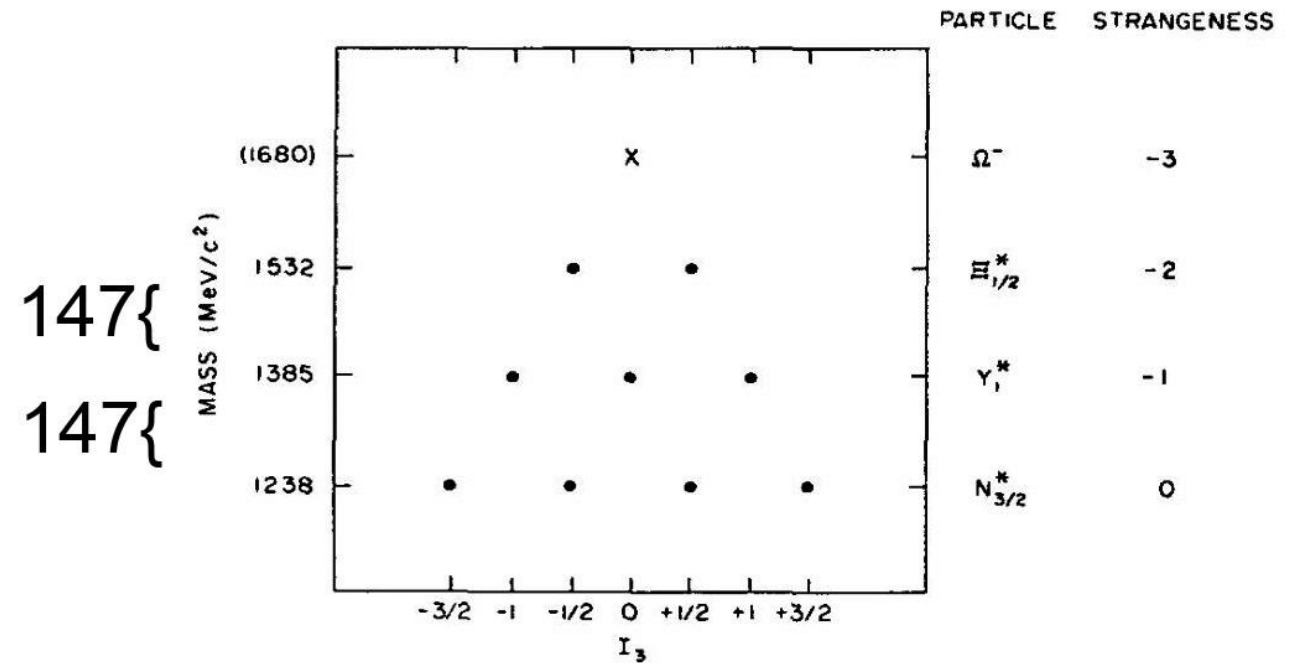


https://de.wikipedia.org/wiki/Eightfold_Way

Vorhersage des Omega-Minus

- Isospin = 0
- Strangeness = -3
- Ladung = -e
- Masse $m \approx 1680 \frac{\text{MeV}}{c^2}$

Abbildung: Baryonen- Dekuplett mit Spin 3/2



V. E. Barnes et al.: Observation of a Hyperon with Strangeness Minus Three.
In: Phys. Rev. Lett. **12**, 204 – Published 24 February 1964

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

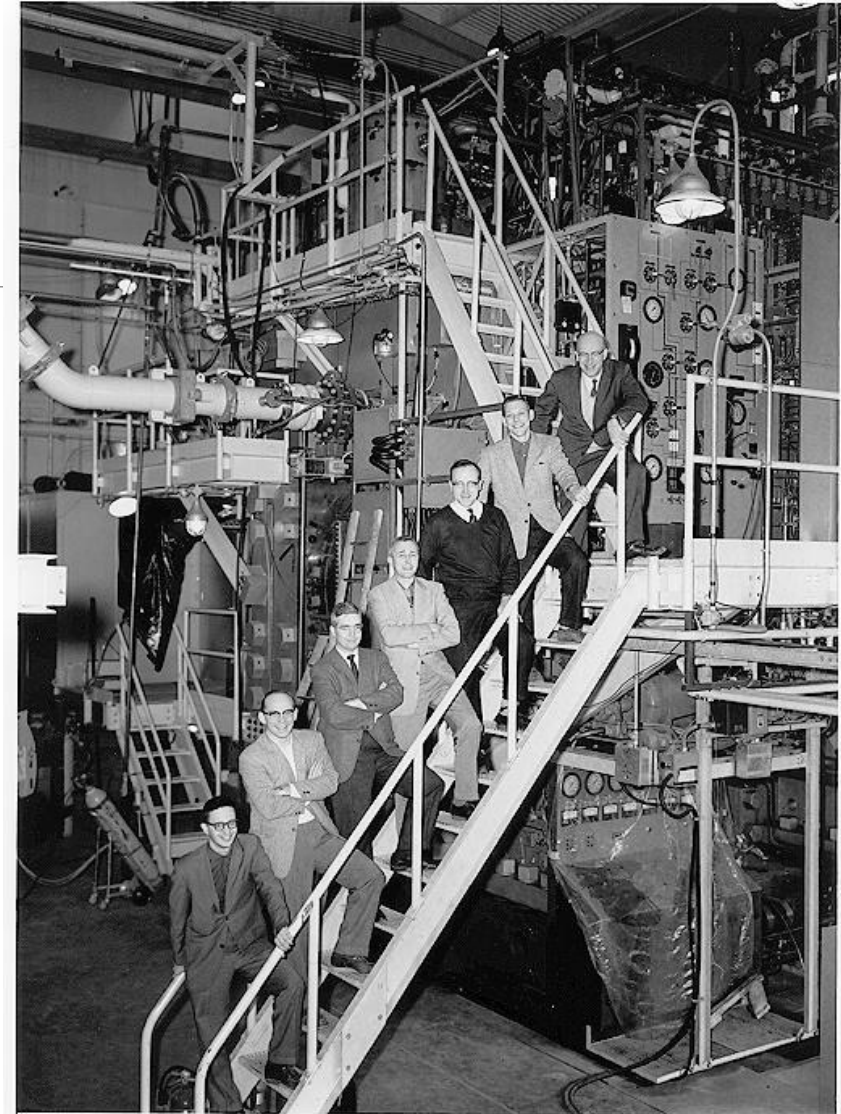
Brookhaven National Laboratory

- US-Amerikanisches Forschungszentrum
- 1947 gegründet
- 3000 festangestellte + 4000 Gastforscher
- Mehrere Beschleuniger
- 6 Nobelpreise



Forscherguppe

- 1964: gezielte Suche nach Omega-Minus
- Verwendung erst entstandener Werkzeuge
 - Alternating Gradient Synchrotron
 - 80" Bubble Chamber



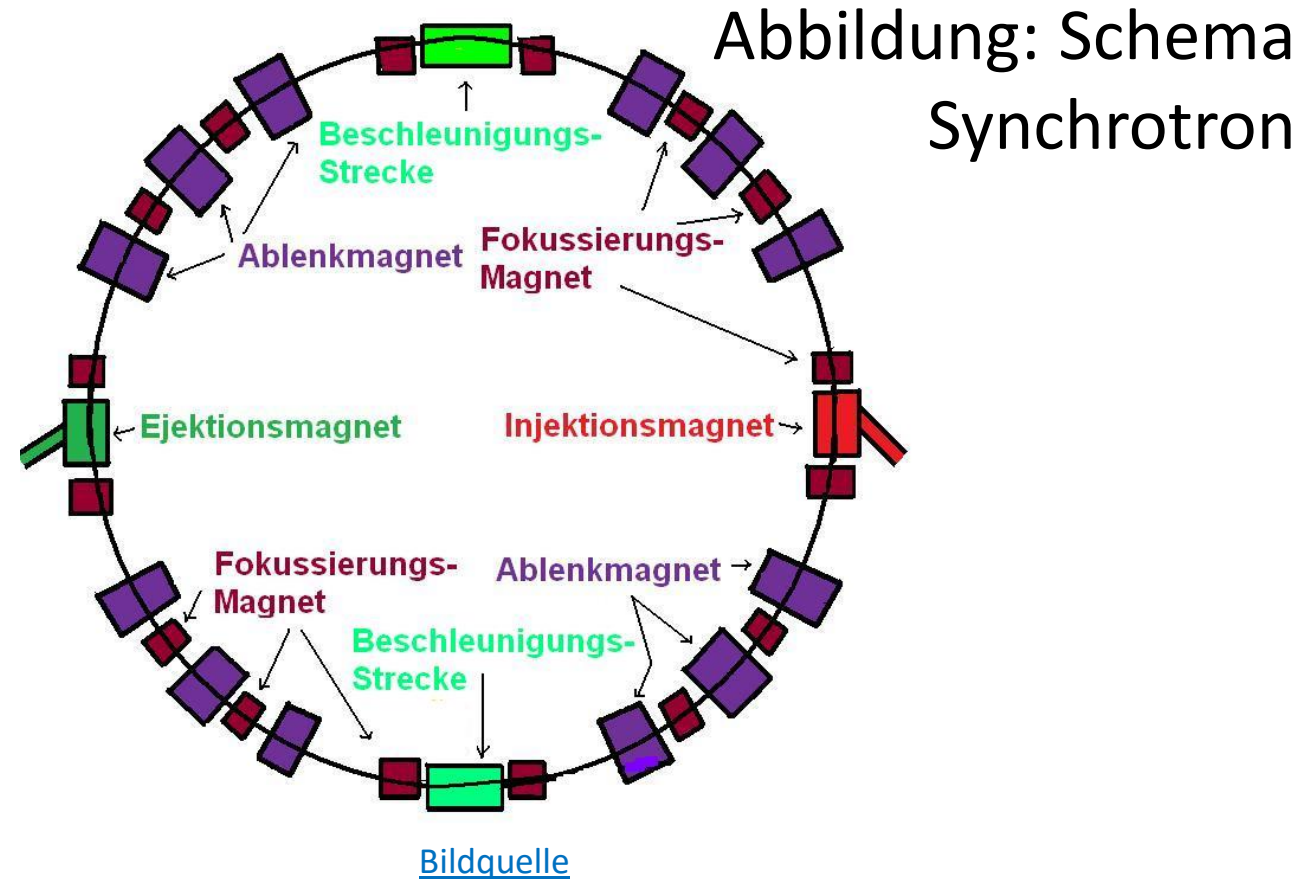
Omega-minus group: (T to B) Ralph Shutt, Jack Jensen, Medford Webster, William Tuttle, William Fowler, Donald Brown, Nicolas P. Samios

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

Synchrotron

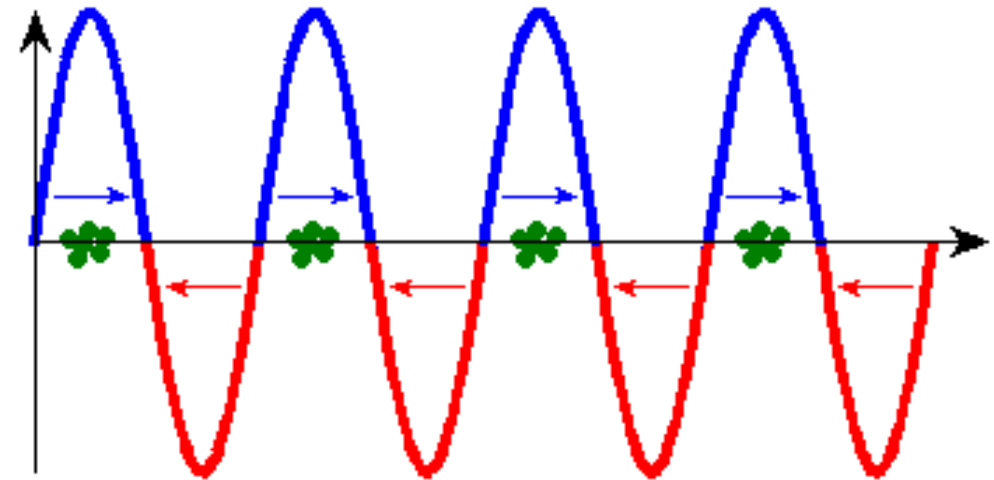
- Kreisbeschleuniger
- Variables Magnetfeld
→ stabile Bahn
- Hochfrequenzresonatoren
 - Beschleunigung



Synchrotron

- Kreisbeschleuniger
- Variables Magnetfeld
 - stabile Bahn
- Hochfrequenzresonatoren
 - Beschleunigung

Abbildung: Hochfrequenzresonator

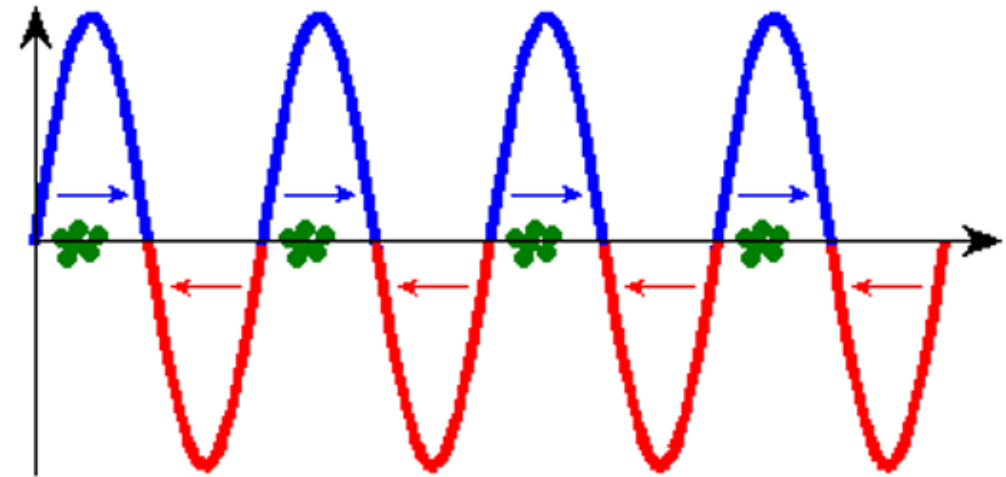


<https://de.wikipedia.org/wiki/Linearbeschleuniger>

Synchrotron

- Kreisbeschleuniger
- Variables Magnetfeld
 - stabile Bahn
- Hochfrequenzresonatoren
 - Beschleunigung
 - Teilchenpakete

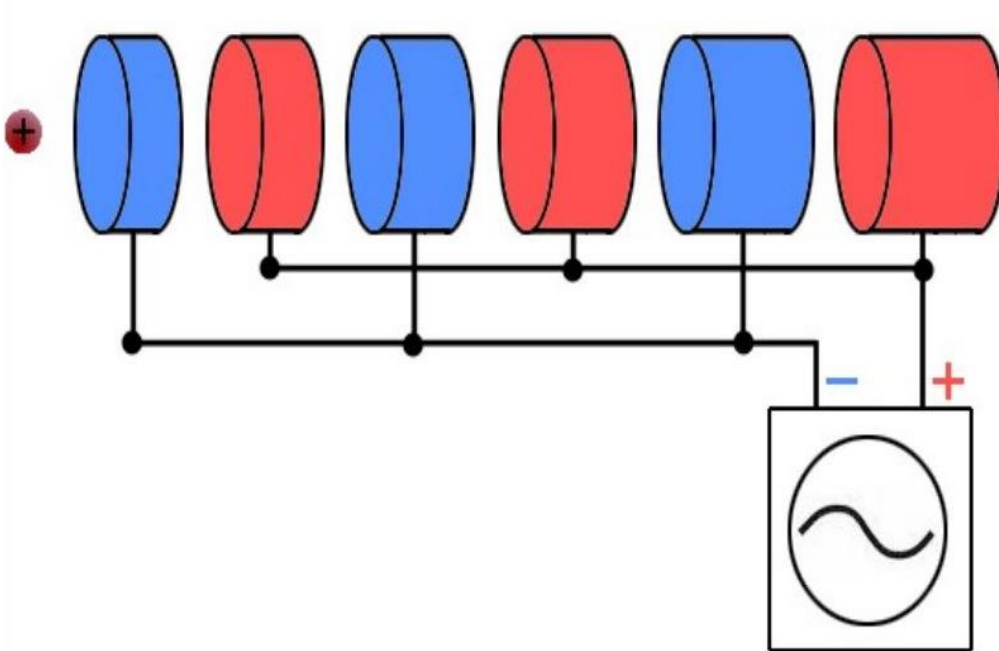
Abbildung: Hochfrequenzresonator



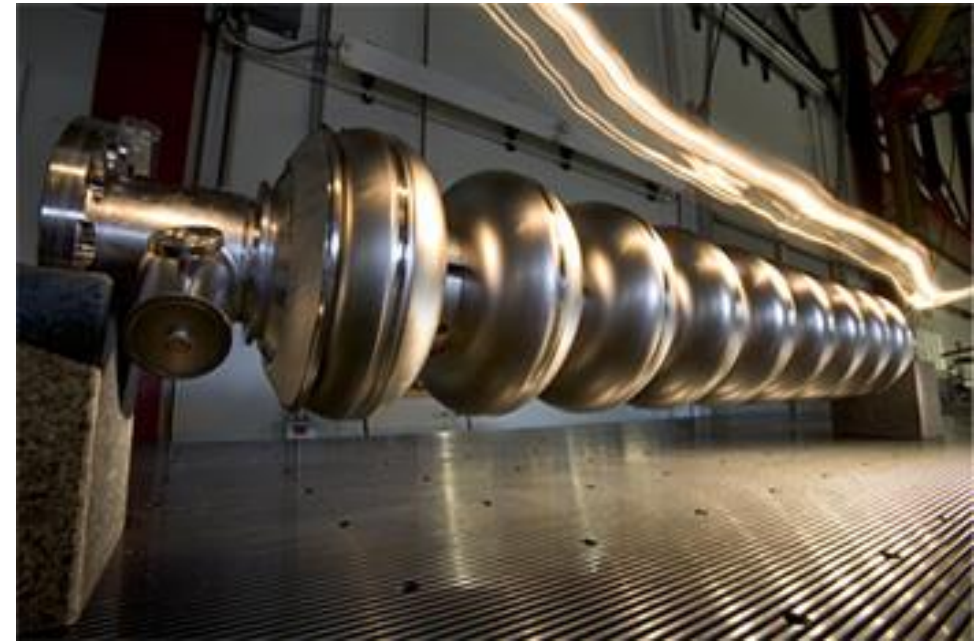
<https://de.wikipedia.org/wiki/Linearbeschleuniger>

Hochfrequenzresonator (HF)

HF - SCHEMA



HF VON AUßEN



Weg zum neuen Beschleuniger

- Vorher: Cosmotron mit 3,3GeV und 145m Umfang
- Ziel: ca. 30GeV
- Problem: schwache Fokussierung
 - 10fache Energie → 100fache Menge Stahl
- Lösung: starke Fokussierung

Fokussierung

- Magnetfeldgradient n

- $n = -\frac{r}{B} * \frac{\partial B}{\partial r},$

r : Radius der beschleunigten Teilchen

B : Magnetfeldstärke

- $n > 1$: keine radiale Fokussierung
- $n < 0$: keine vertikale Fokussierung

Schwache Fokussierung

- Magnetfeldgradient n
 - $n = -\frac{r}{B} * \frac{\partial B}{\partial r}$
- Stabile Bahn für $0 < n < 1$
- Große Vakuumkammern
- Große Magneten

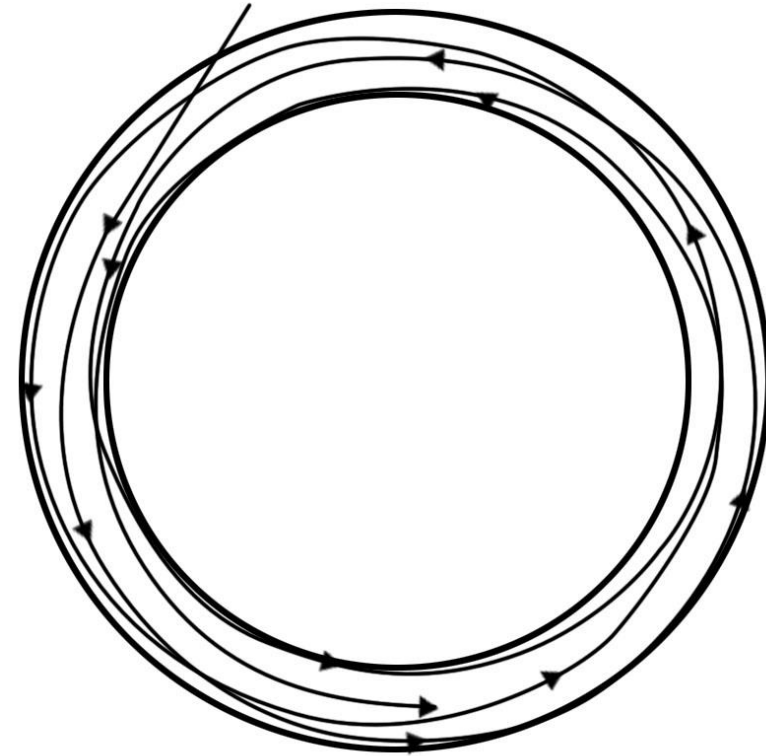
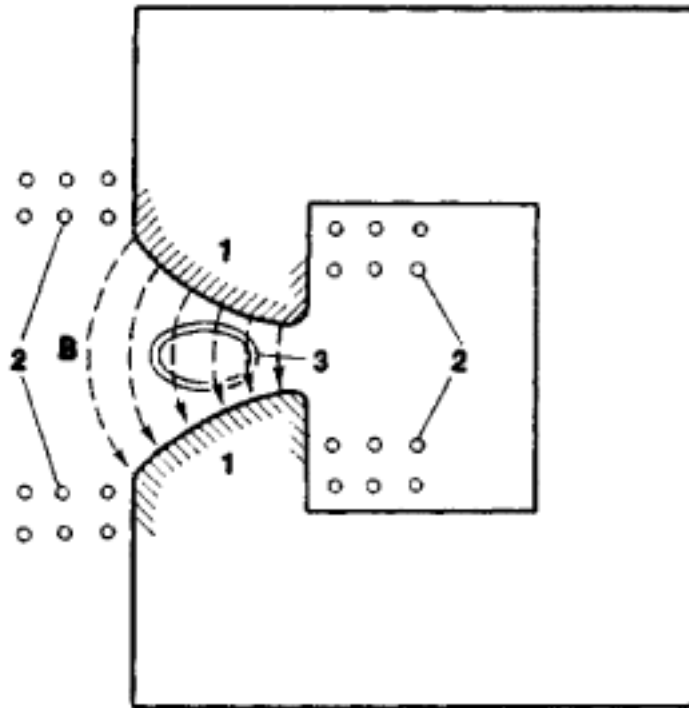


Abbildung: Teilchenbahn bei schwacher Fokussierung

Starke Fokussierung (Alternating Gradient)

- $n < 0$ ($B(r)$ wachsend):
 - radiale Fokussierung, vertikale Defokussierung
- $n > 1$ ($B(r)$ fallend):
 - vertikale Fokussierung, radiale Defokussierung

Abbildung: Magnet für vertikale Fokussierung

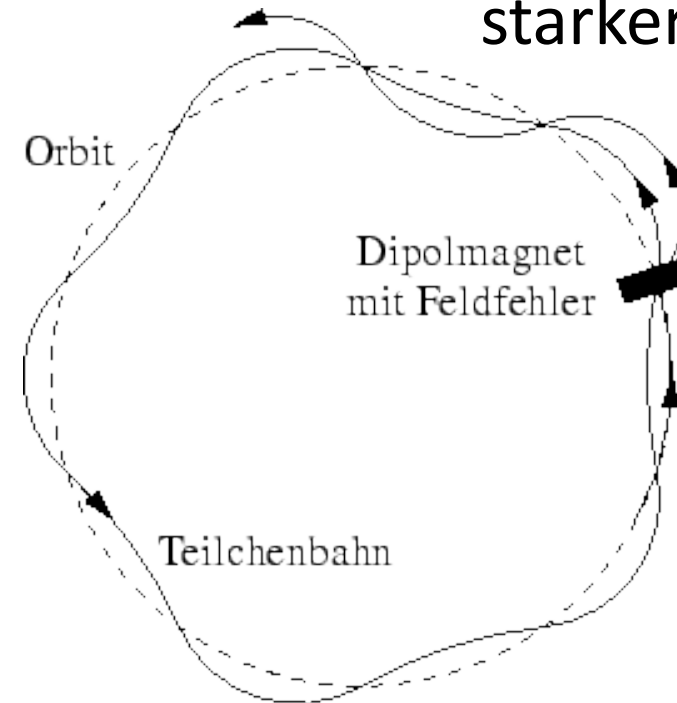


<http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Accelerator,+Particle>

Starke Fokussierung (Alternating Gradient)

- $n < 0$ ($B(r)$ wachsend):
 - radiale Fokussierung, vertikale Defokussierung
- $n > 1$ ($B(r)$ fallend):
 - vertikale Fokussierung, radiale Defokussierung
- Idee: abwechselnd Fokussieren und Defokussieren

Abbildung: Teilchenbahn bei starker Fokussierung



<https://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/skript/Synchrotron.html>

Abbildung 1: Magnete des AGS
(Starke Fokussierung), 800m
Umfang

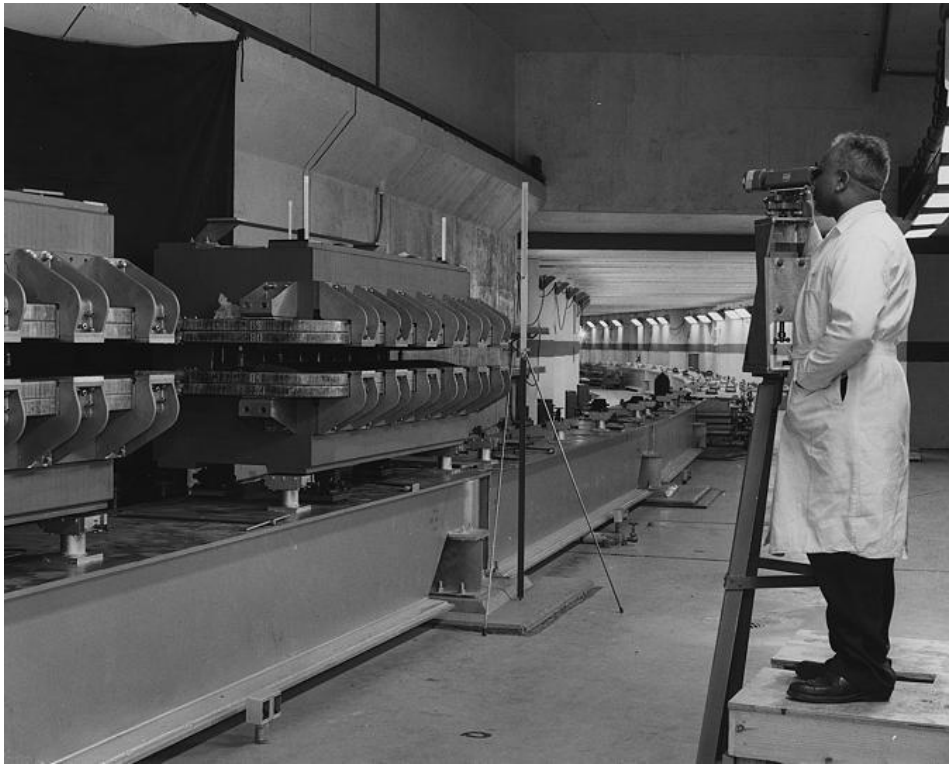
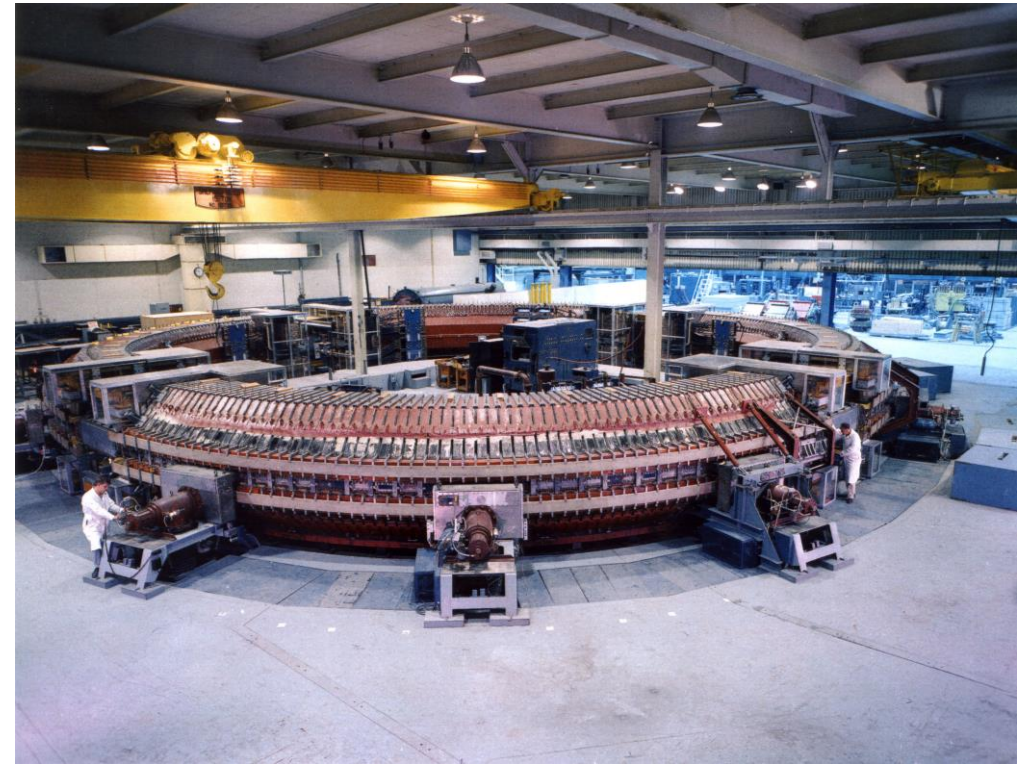


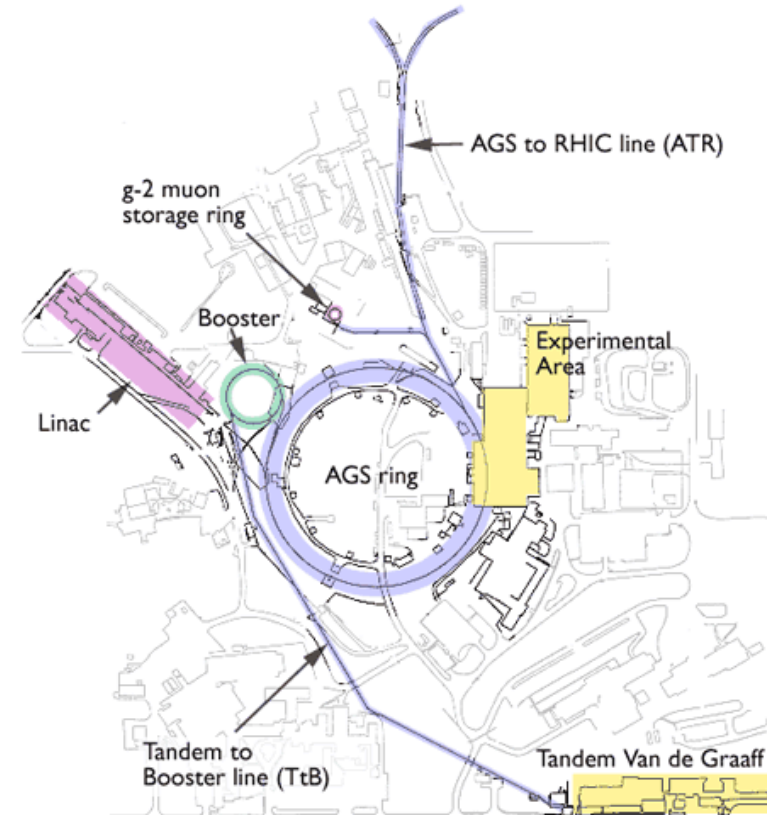
Abbildung 2: Cosmotron, 145m
Umfang



<https://www.flickr.com/photos/brookhavenlab/sets/72157611796003039/>

Alternating Gradient Synchrotron (AGS)

- Protonenbeschleuniger
- 33 GeV
- 800m Umfang
- 20 Pulse pro Minute
 - 10^{10} Protonen pro Puls



https://www.bnl.gov/bnlweb/facilities/AGS_map.asp

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

Blasenkammer

- 1952 von Donald A. Glaser erfunden
→ Nobelpreis 1960
- ähnlich zur Nebelkammer
- Überhitzte Flüssigkeit
- geladene Teilchen sichtbar

„Teilchenexplosion“

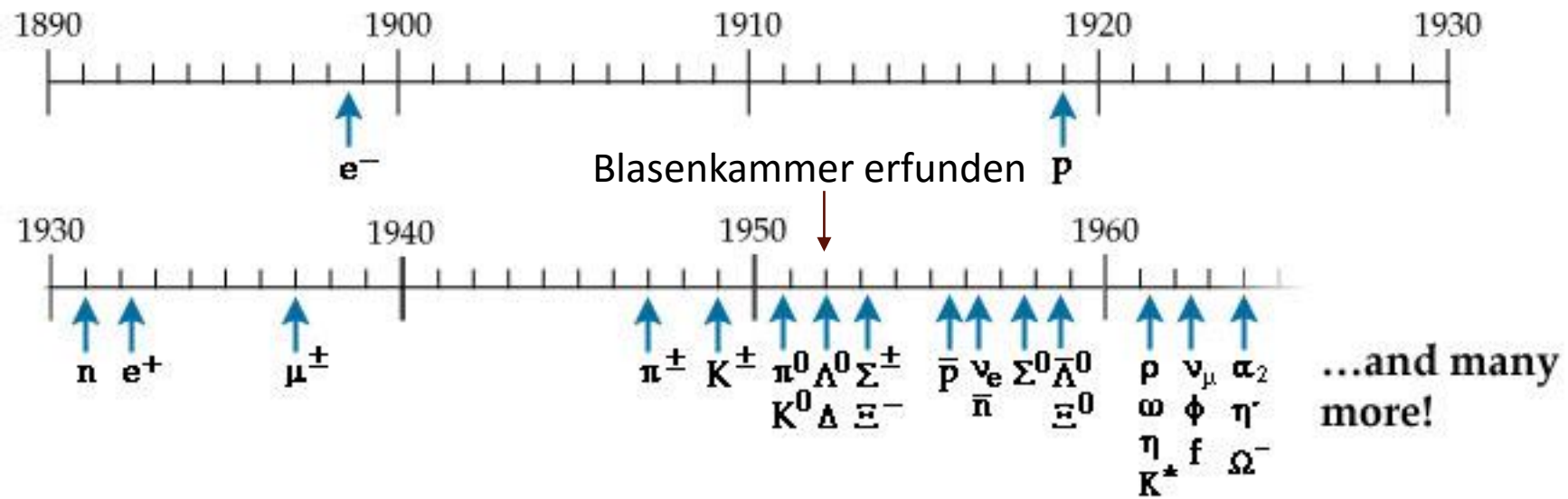
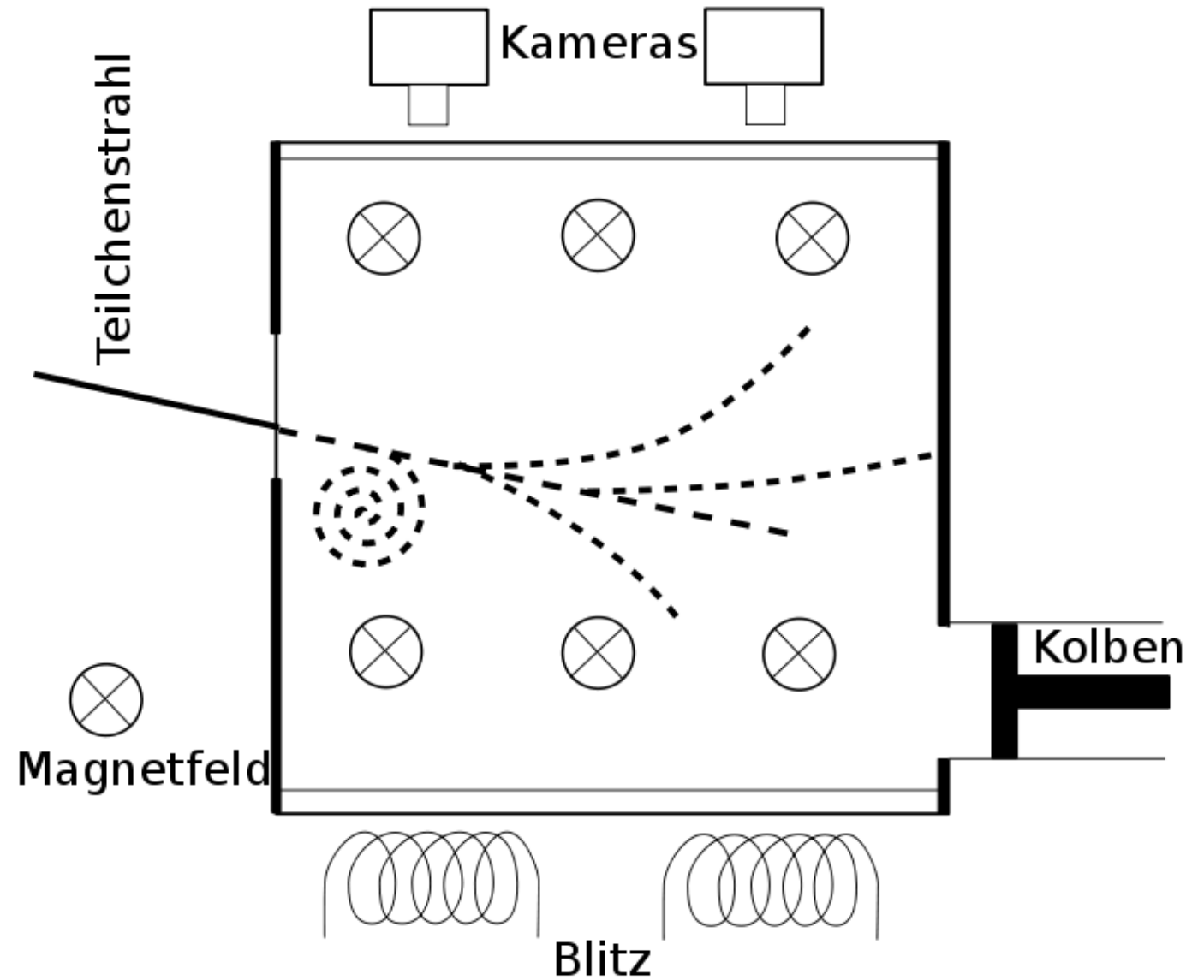


Abbildung: Funktionsweise einer Blasenkammer



<https://de.wikipedia.org/wiki/Blasenkammer>

Impulsbestimmung in der Blasenkammer

- Homogenes Magnetfeld
- Lorentzkraft
- $Bqv = \frac{mv^2}{r} \quad \Leftrightarrow \quad p = Bqr$
- Elektronische Auswertung
 - „Flying spot digitizer“



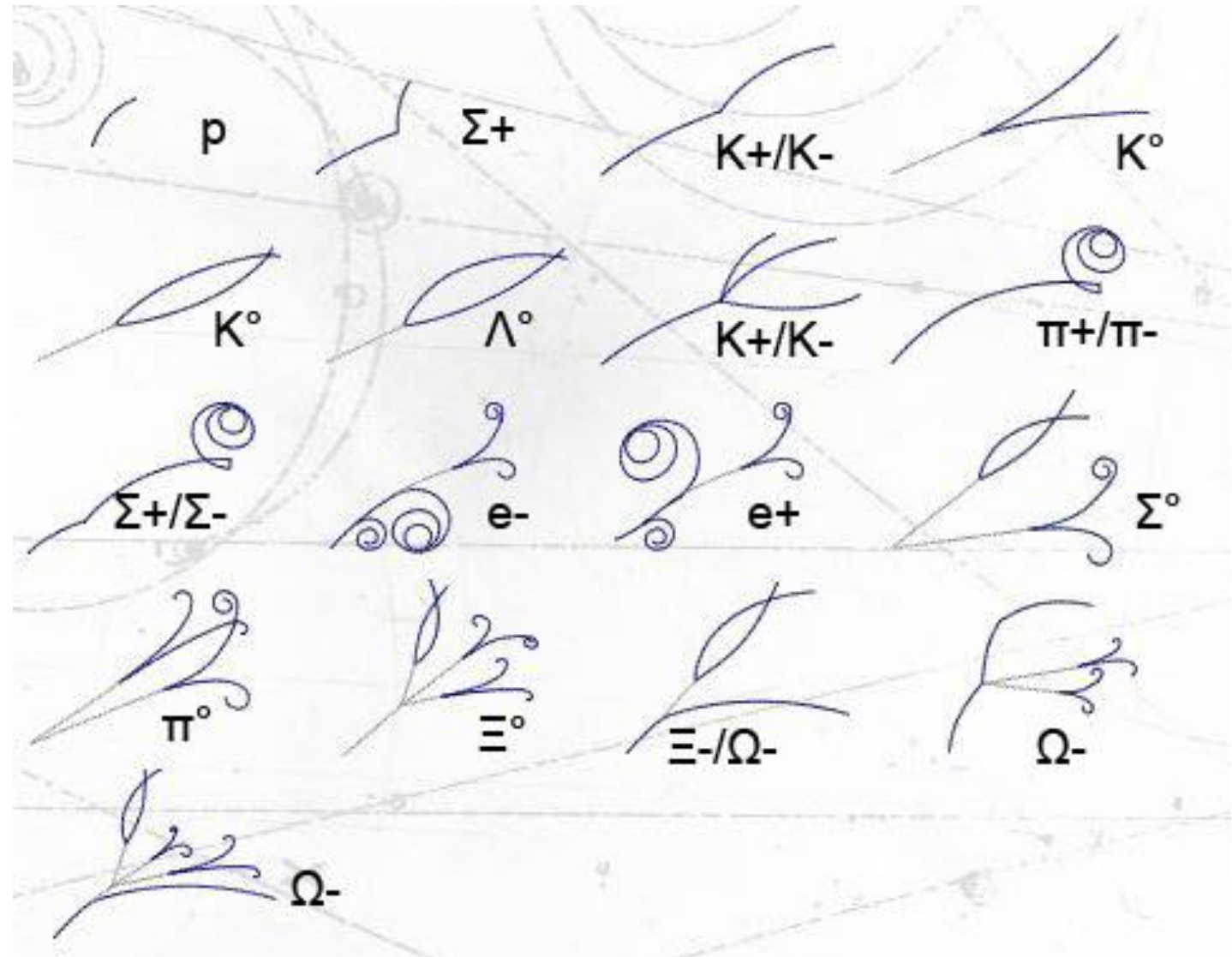
Abbildung:
Typische
Aufnahme einer
Blasenkammer

<http://pausen.home.netcom.com/images/bubble2.jpg>

Energiebestimmung in der Blasenkammer

- Reichweite (falls Teilchen zum stehen kommt)
- Sonst: Charakteristischer Zerfall

Abbildung:
Charakteristische
Zerfälle
ausgewählter
Teilchen



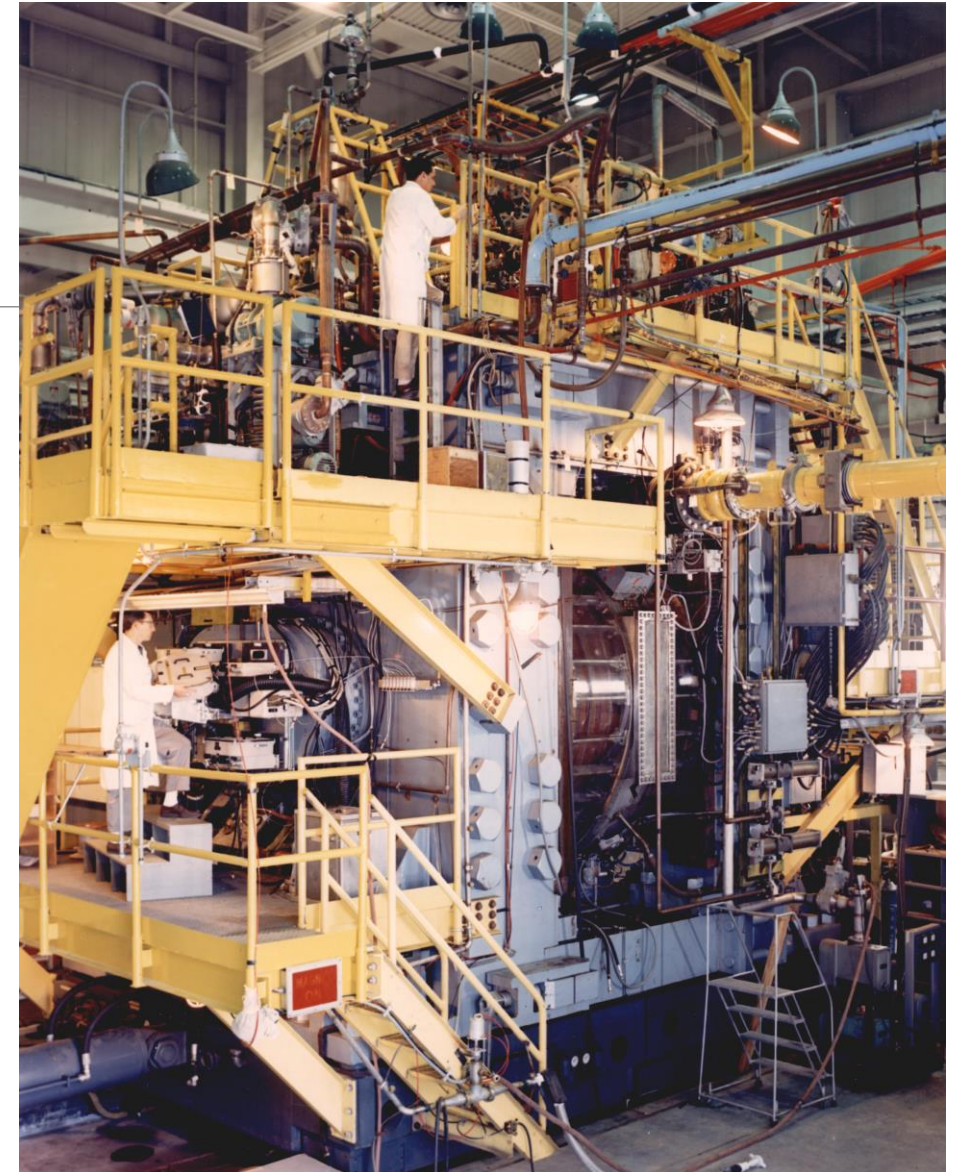
http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/hst2005/bubble_chambers/bcwebsite/07.htm

Energiebestimmung in der Blasenkammer

- Reichweite (falls Teilchen zum stehen kommt)
- Sonst: Charakteristischer Zerfall
 - $E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$

80" Bubble Chamber

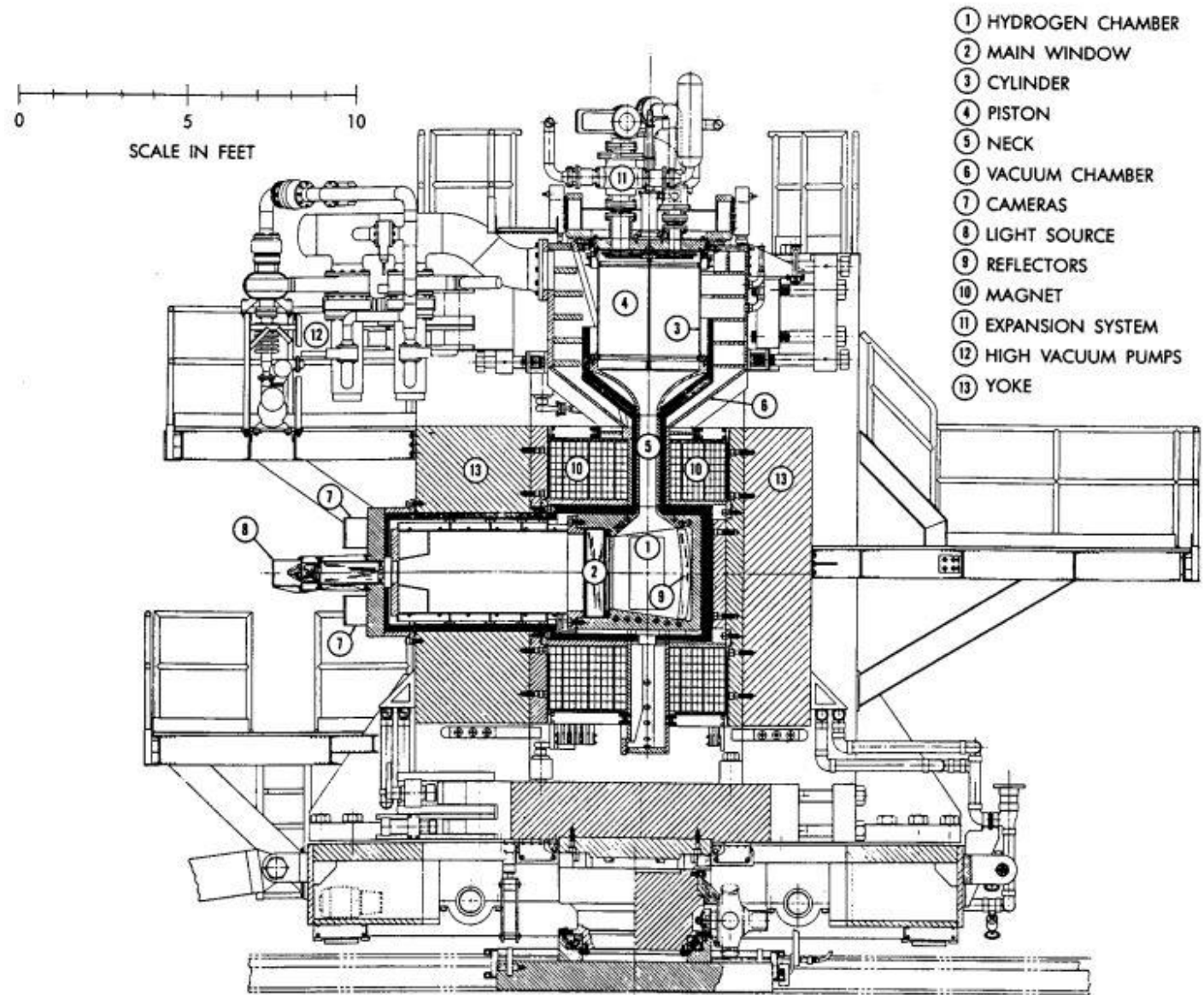
- 900L flüssiger Wasserstoff
- Temperatur: 26K
- Magnetfeldstärke: 2T
- Eine Aufnahme pro Sekunde



<https://www.flickr.com/photos/brookhavenlab/sets/72157611796003039/>

Abbildung: 80" Bubble Chamber

Maße der Kammer
(Breite x Länge x Tiefe):
27x80x26 Zoll
69x200x66 cm



Schematic cross section of the 80-inch liquid hydrogen bubble chamber showing major components.

<https://www.bnl.gov/bnlweb/history/80-Bubble-Chamber-Book.pdf>

Blasenkammer

VORTEILE

- Target: Nur Protonen
- Gute Ortsauflösung

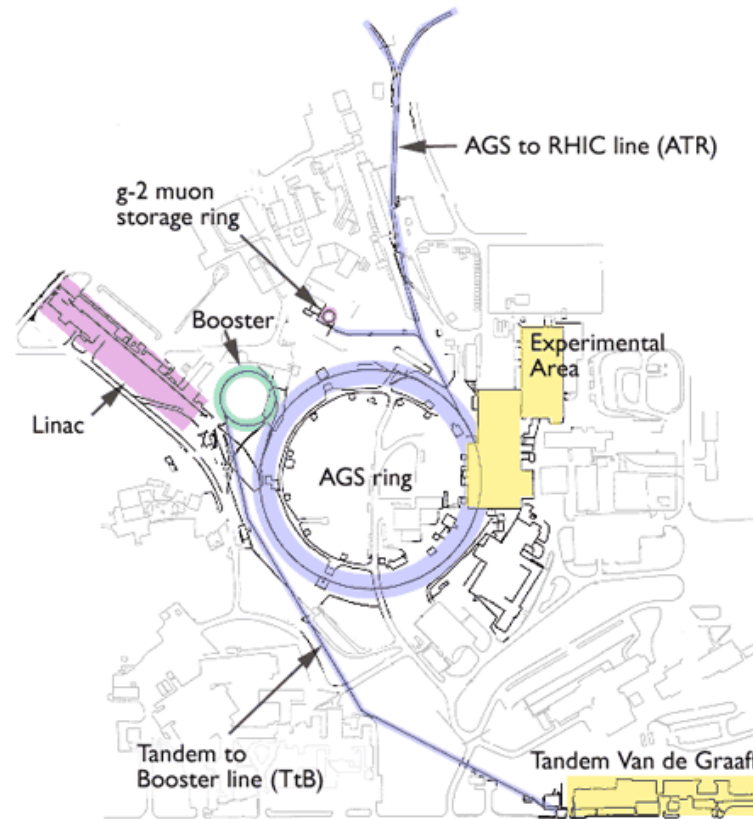
NACHTEILE

- Extremer Aufwand durch
 - Die Bedingungen
 - Sicherheitsmaßnahmen
 - Analoge Auswertung

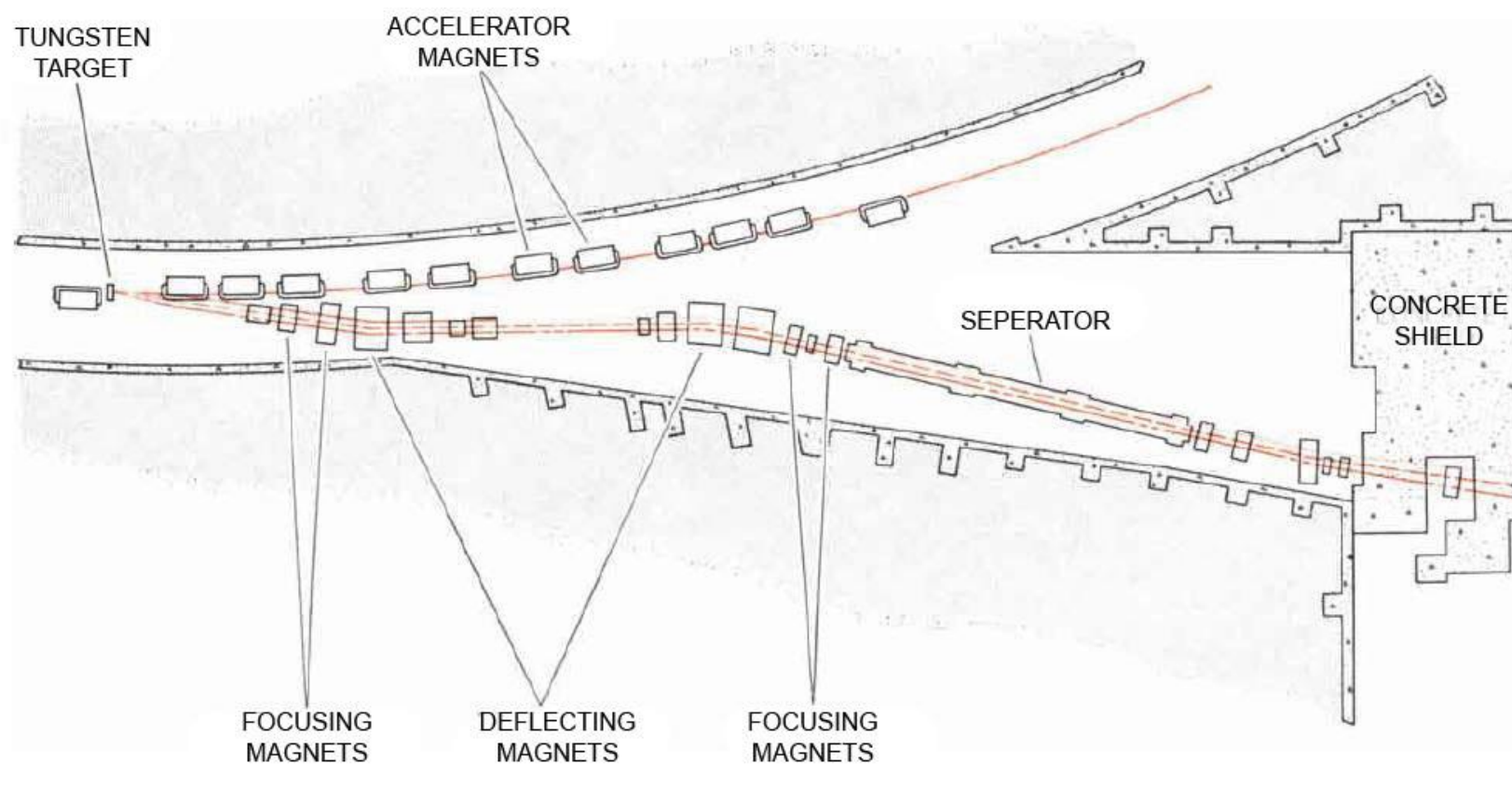
Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

Beschleunigung

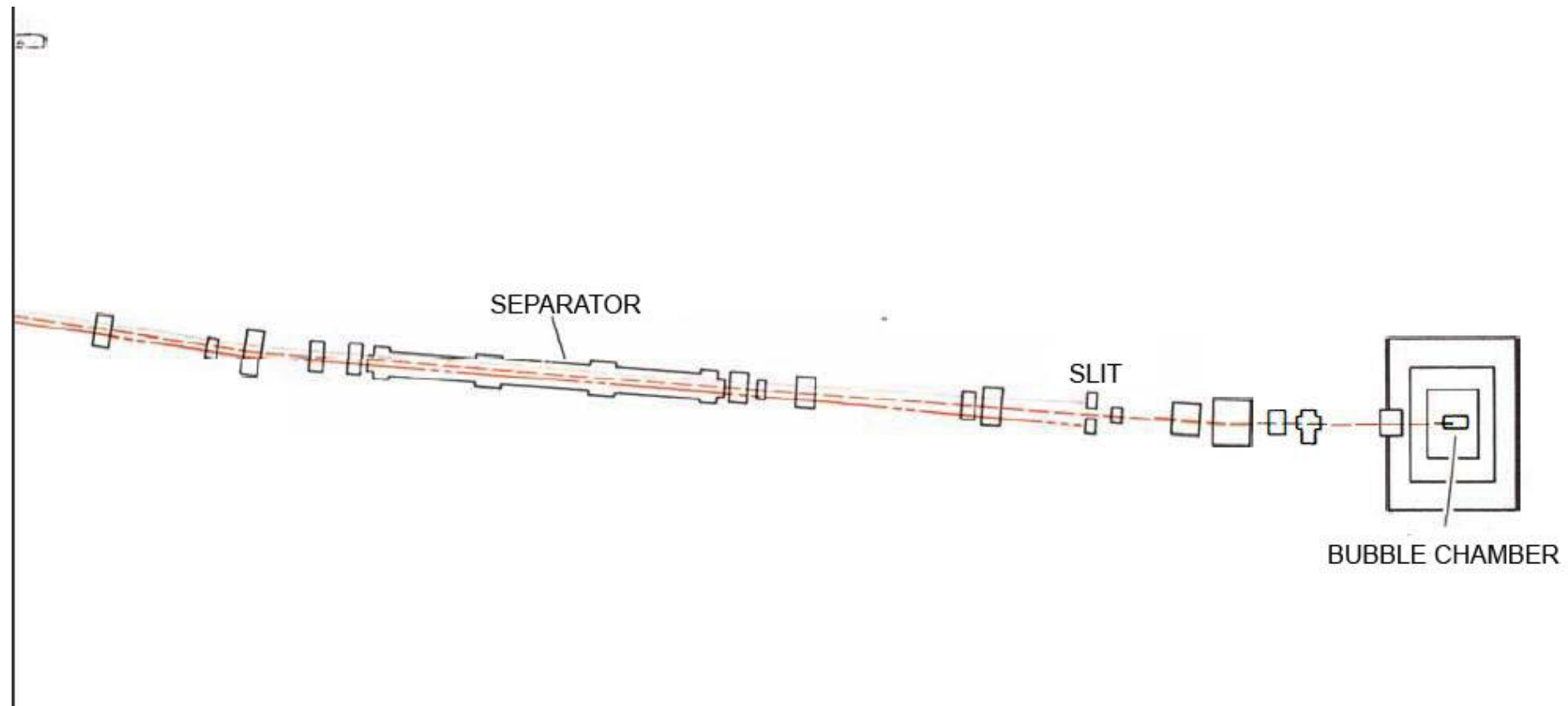


Kaon-Filter Teil 1/2



William B. Fowler & Nicholas P. Samios: The Omega-Minus Experiment. ; In: Scientific American 211, Seite 36-45 (1964)

Kaon-Filter Teil 2/2



William B. Fowler & Nicholas P. Samios: The Omega-Minus Experiment. ; In: Scientific American 211, Seite 36-45 (1964)

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

Omega-Minus Ereignis

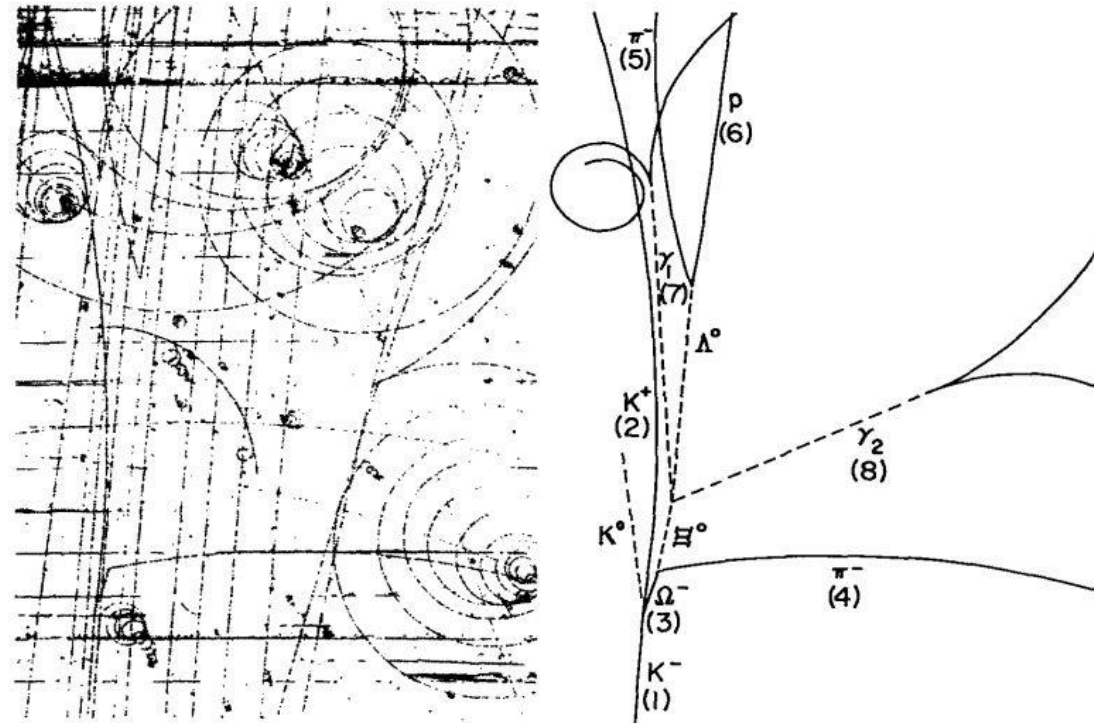


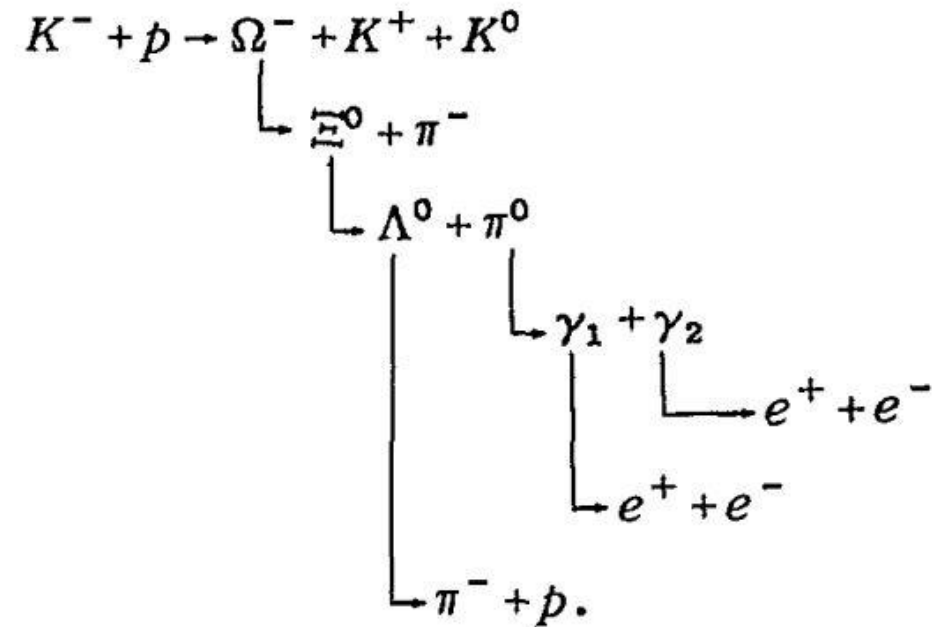
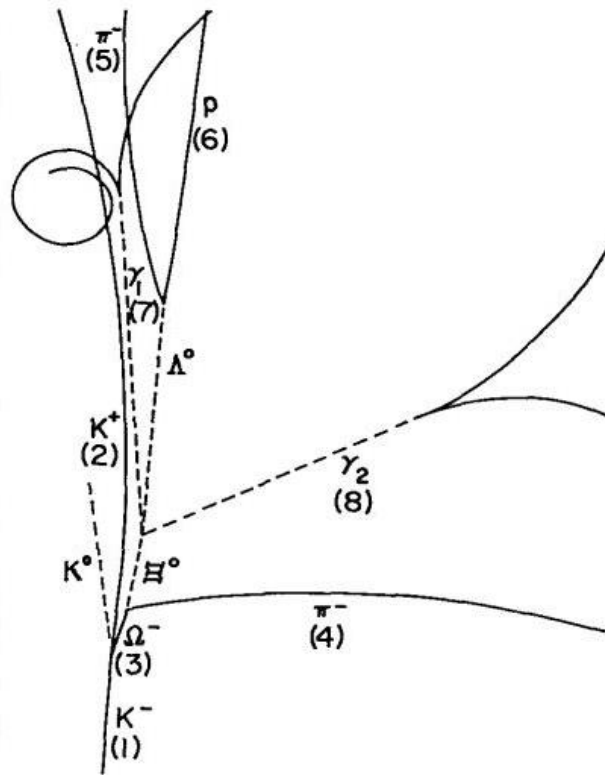
FIG. 2. Photograph and line diagram of event showing decay of Ω^- .

V. E. Barnes et al.: Observation of a Hyperon with Strangeness Minus Three.
In: Phys. Rev. Lett. 12, 204 – Published 24 February 1964

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

Omega-Minus Ereignis



V. E. Barnes et al.: Observation of a Hyperon with Strangeness Minus Three.
In: Phys. Rev. Lett. **12**, 204 – Published 24 February 1964

Inhaltsverzeichnis

1. The Eightfold Way
2. Das Experiment
 1. Forschergruppe
 2. Synchrotron
 3. Blasenkammer
 4. Ablauf
3. Omega-Minus Ereignis
 1. Spurenanalyse
 2. Ergebnis

Ergebnis des Experiments

THEORETISCHE WERTE

- Strangeness -3
- Masse $1680 \text{ MeV}/c^2$

EXPERIMENTELLE WERTE

- Strangeness -3
- Masse $m = (1686 \pm 12) \text{ MeV}/c^2$

Heutiger Literaturwert:
 $m = (1672.45 \pm 0.29) \text{ MeV}/c^2$

Quelle: <http://pdg.lbl.gov/2015/listings/rpp2015-list-omega-minus.pdf>

Bedeutung des Experiments

- Bestätigung des Eightfold Way
- Idee der Quarks
- Großer Schritt zum Verständnis der Kräfte zwischen Nuklearteilchen

Quellen

- V. E. Barnes et al.: Observation of a Hyperon with Strangeness Minus Three.
In: Phys. Rev. Lett. 12, 204 – Published 24 February 1964
- William B. Fowler & Nicholas P. Samios: The Omega-Minus Experiment.
In: Scientific American 211, Seite 36-45 (1964)
- Strangeness Minus Three (BBC Horizon, 1964/6)
- <https://www.bnl.gov/bnlweb/history/80-Bubble-Chamber-Book.pdf>
- http://inspirehep.net/record/919877/files/HEACC59_371-375.pdf
- http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/hst2005/bubble_chambers/bcwebsite/faq.htm
- <https://www.bnl.gov/world/>
- <https://www.flickr.com/photos/brookhavenlab/sets/72157611796003039/>
- http://tulectures.web.cern.ch/tulectures/Folien/11_Alternating%20Gradient_Starke%20Fokussierung_MB.pdf