DIE ENTDECKUNG DES Ω^-

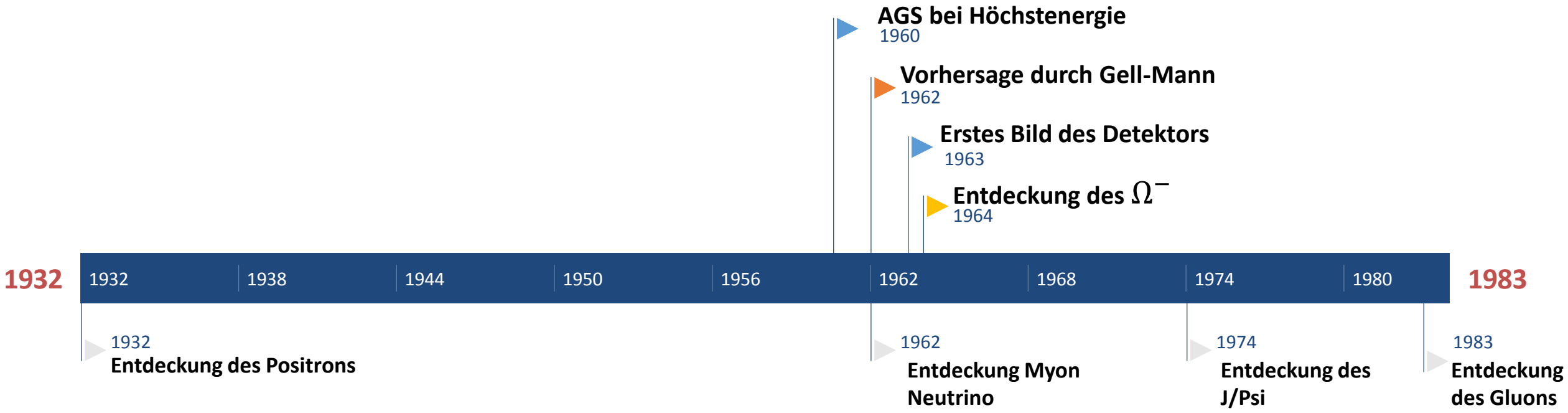
Schlüsselexperimente der Teilchenphysik

Julian Göltz, 5. Dezember 2014

ÜBERBLICK

- Theorie
- Der AGS Beschleuniger
- Detektor
- Ω^- Ereignis
- Auswirkungen

HISTORISCHE EINORDNUNG

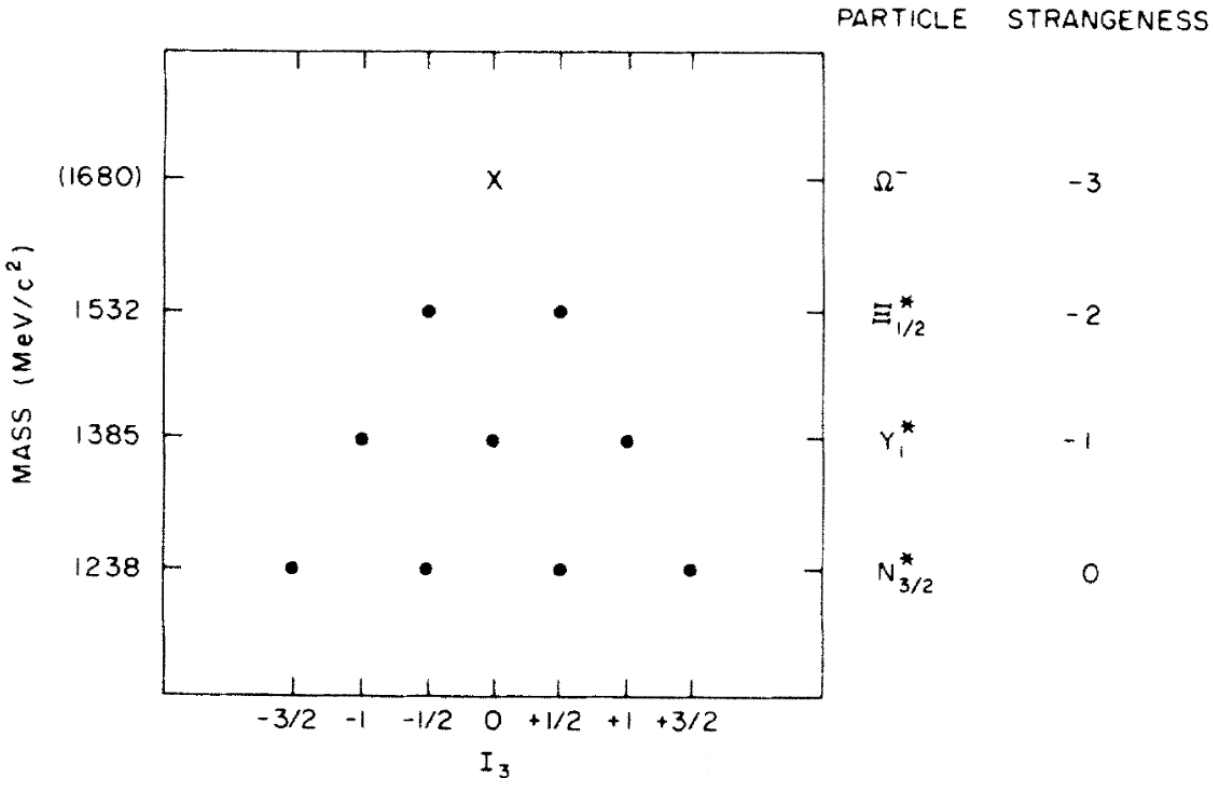


STAND DER TEILCHENPHYSIK

- 1960: ~30 „Elementarteilchen“
- In kurzer Zeit 50 neue Teilchen gefunden
- Entwicklung des SM parallel

VORHERSAGE DES Ω^-

- Grundlage Gruppentheorie SU(3)
- The Eightfold Way: 8 Operatoren



VORHERSAGE: SUCHE NACH SYMMETRIE

- Sortierung der Teilchen nach Masse

Isospin:

- Neutron, Proton ähnliche Masse:

$$m_p = 938.3MeV$$
$$m_n = 939.6MeV$$

- Isospin-Dublett

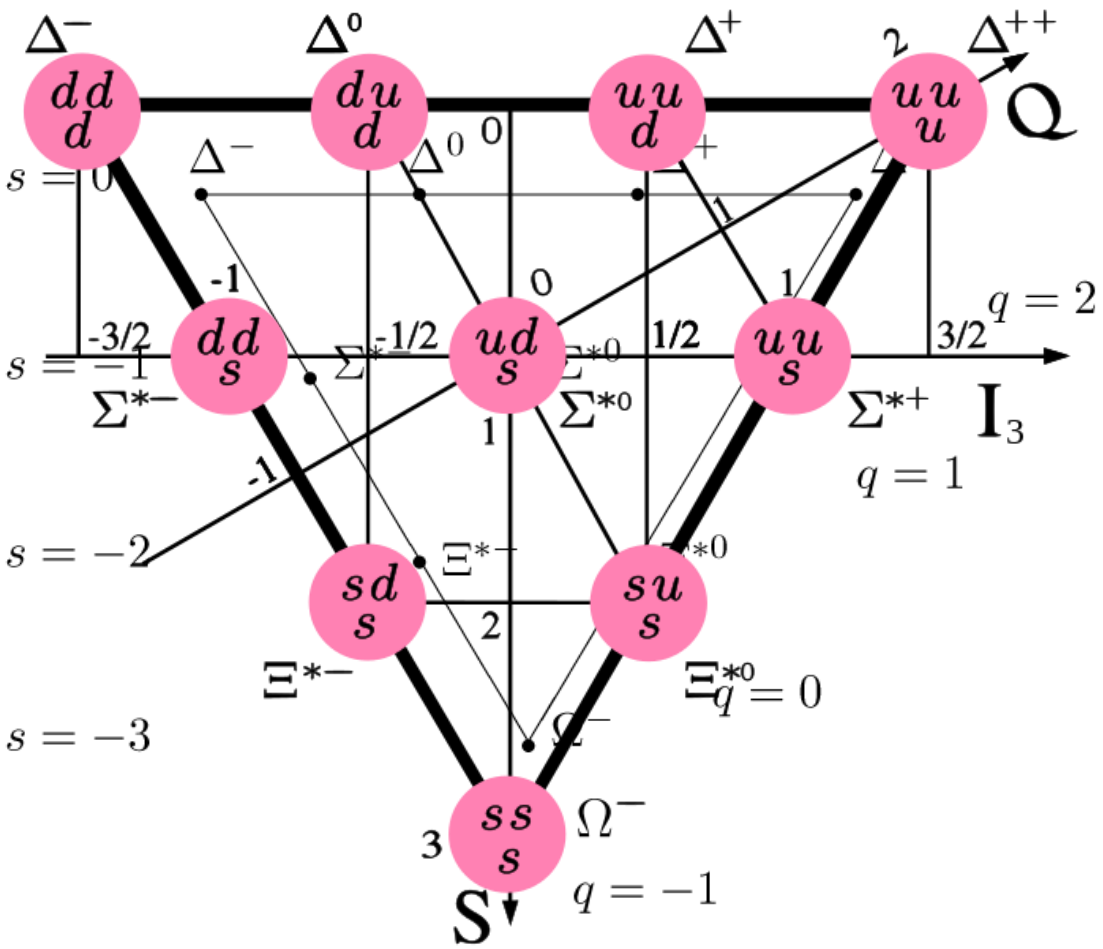
VORHERSAGE: SUCHE NACH SYMMETRIE

	I_3	Mass, MeV
Σ^-	-1	1197.4
Σ^0	0	1192.6
Σ^+	$+1$	1189.4.

TABLE 6.4 Mass splitting in $J^P = \frac{3}{2}^+$ decuplet

State	$N^{*-}_{\Delta}(1236)$		$\Sigma_1^{*-}(1382)$		$\Xi^{*-}(1529)$		$\Omega^-(1675)$
ΔM(MeV)		146		147		146	
Quark assignment	222		223		332		333

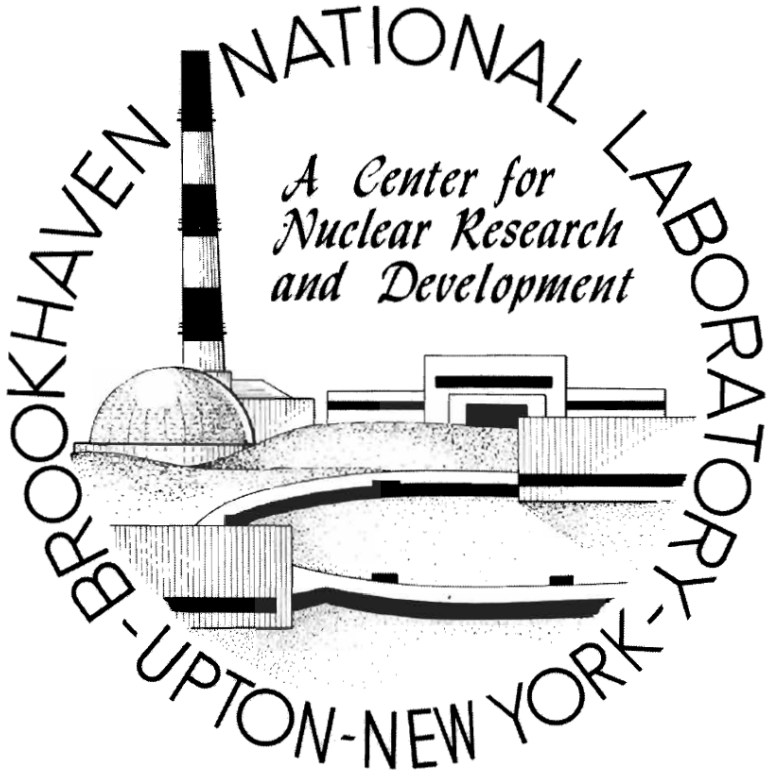
VORHERSAGE: BARYONEN DEKUPLETT



http://en.wikipedia.org/wiki/Eightfold_way_%28physics%29

EXPERIMENT

- Leitung von W.B. Fowler, N.P. Samios
- Gezielt nach Ω^- gesucht
- Gerade entstandene Werkzeuge benutzt



THEORIE: SYNCHROTRON

- Beschleuniger arbeiten mit geladenen Teilchen
- Synchrotron: Kreisbeschleuniger mit variablem Magnetfeld
  - Stabile Bahn
- Beschleunigung oft durch HF Resonatoren
  - Keine kontinuierlichen Ströme
  - Teilchenpakete (Bunches)

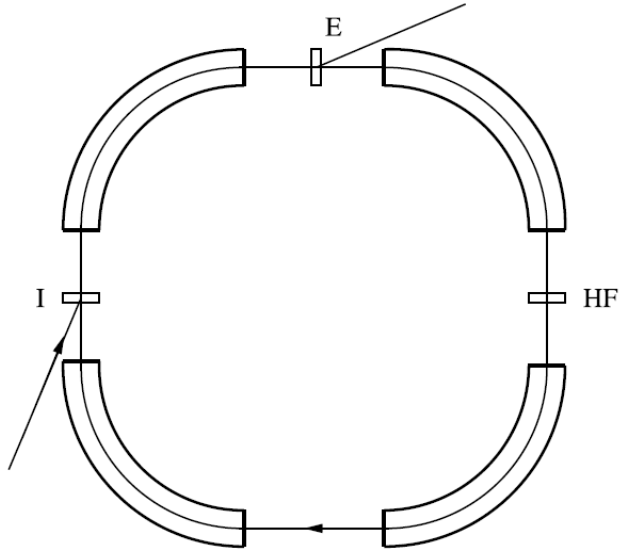


Abb. 2.18. Schema eines CG-Synchrotrons. I: Injektion, E: Extraktion, HF: HF-Resonator

THEORIE: SYNCHROTRON

- Bunches müssen fokussiert werden:
  - Keine perfekte Injektion
  - Coulomb Abstoßung
  - Nötig für hohe Energien
- Transversale Fokussierung
  - Magnetfeldgradienten

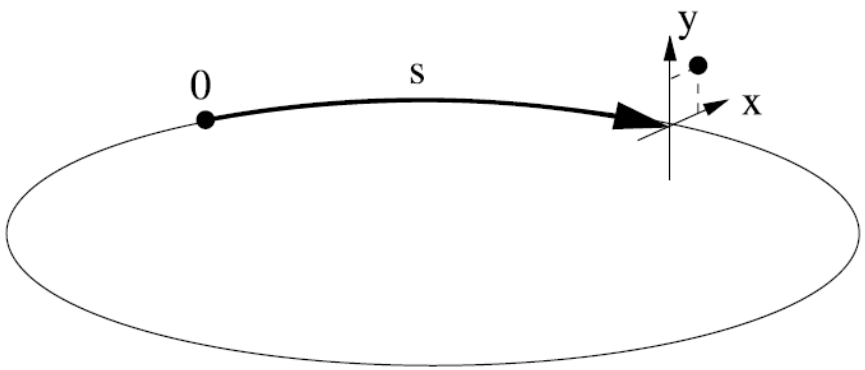
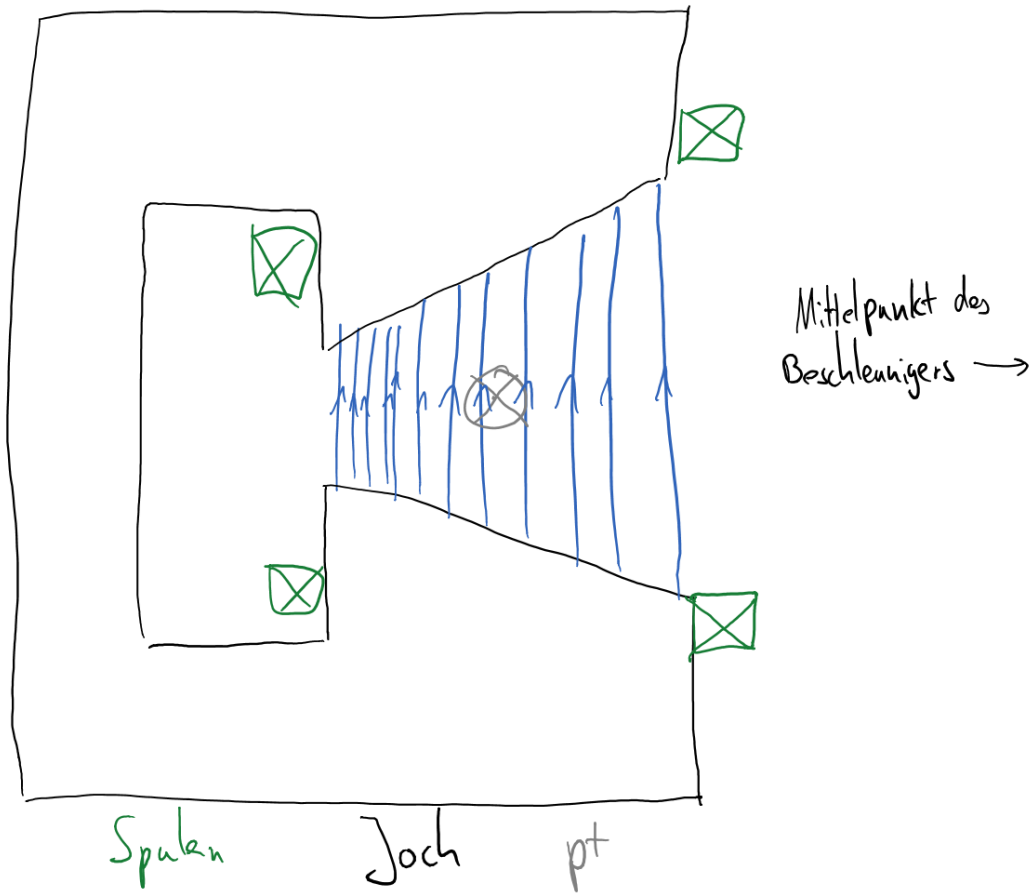


Abb. 6.1. Standardkoordinatensystem (x, y, s) eines Kreisbeschleunigers

THEORIE: CONSTANT GRADIENT SYNCHROTRON



- Teilchen weiter außen
  - B größer
  - Krümmungsradius kleiner
- Teilchen innen
  - B kleiner
  - Krümmungsradius größer

⇒Horizontale Fokussierung

THEORIE: CONSTANT GRADIENT SYNCHROTRON

Maxwell Gleichungen für Vakuum

$\Rightarrow$

Horizontale Fokussierung bedeutet vertikale Defokussierung

Vertikale Fokussierung bedeutet horizontale Defokussierung

THEORIE: ALTERNATING GRADIENT SYNCHROTON

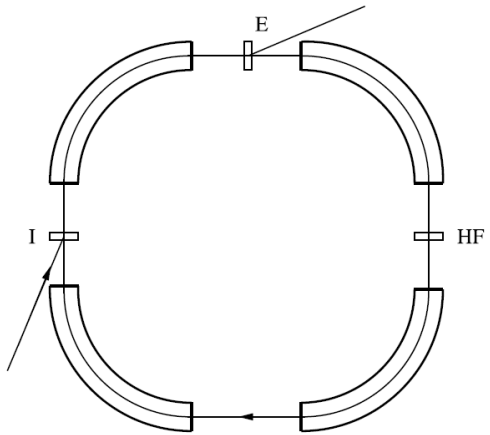


Abb. 2.18. Schema eines CG-Synchrotrons. I: Injektion, E: Extraktion, HF: HF-Resonator

- Gradientenfelder in Ablenkmagneten: entlang stabiler Bahn gleiche Magnetfeldstärke, aber nicht konstant bei Abweichungen
- Konstante Gradienten: alle Ablenkmagneten gleiches Gradientenfeld
- Alternierende Gradienten: abwechselnd positive, negative Gradienten in Ablenkmagneten

⇒ abwechselnd Fokussierung/Defokussierung

THEORIE: ALTERNATING GRADIENT SYNCHROTON

- Magnetfeldgradientenindex:

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

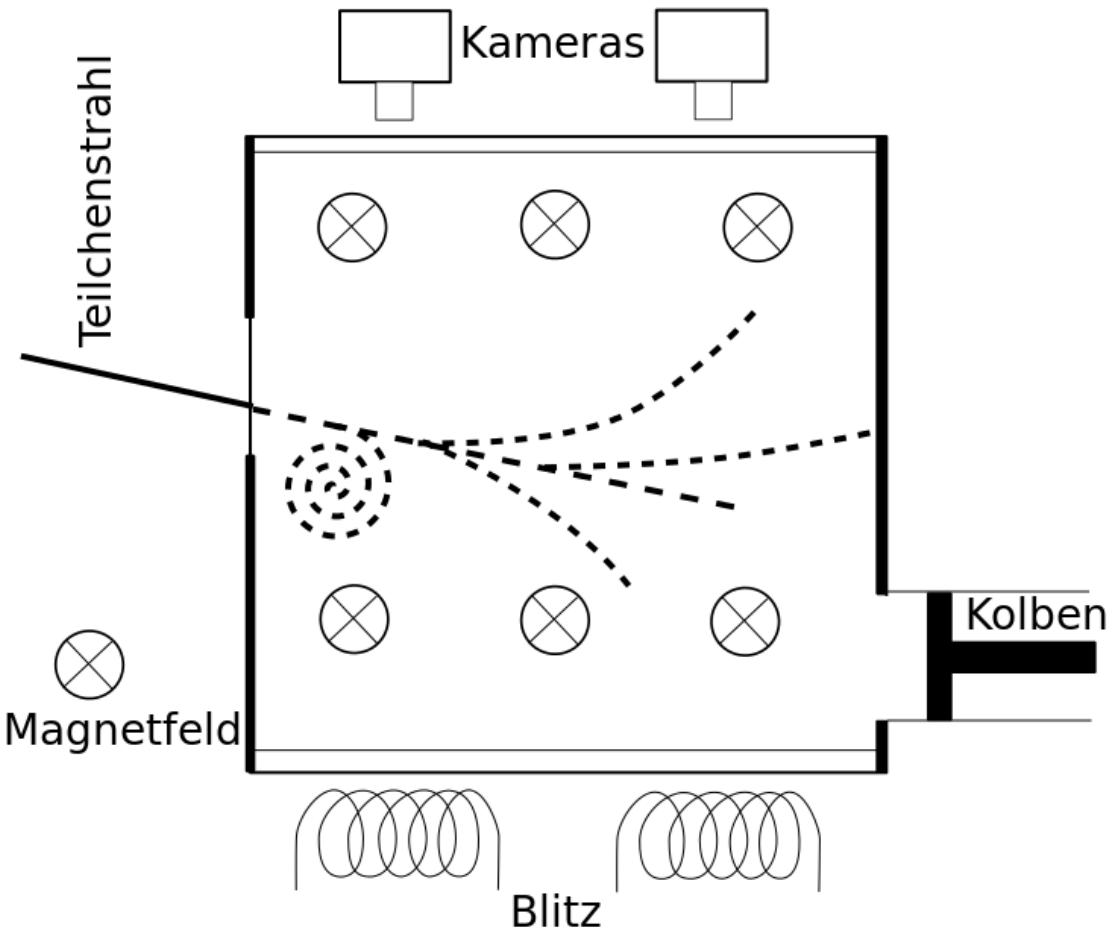
- Stabile Bahn bei konstantem Gradient: $0 < n < 1$
- Keine Beschränkung für alternierende Gradienten
- Alternierende Gradienten fokussieren

EXPERIMENT: BESCHLEUNIGER

- AGS: Alternating Gradient Synchrotron
- Protonenbeschleuniger
- 800m Umfang
- Von 1960-1968 Beschleuniger mit höchster Energie (33GeV)
- 3 Nobelpreise

BLASENKAMMER

- Entwickelt von Donald A. Glaser
- Ähnlich zu Nebelkammer
- Kein übersättigtes Gas, sondern überhitzte Flüssigkeit

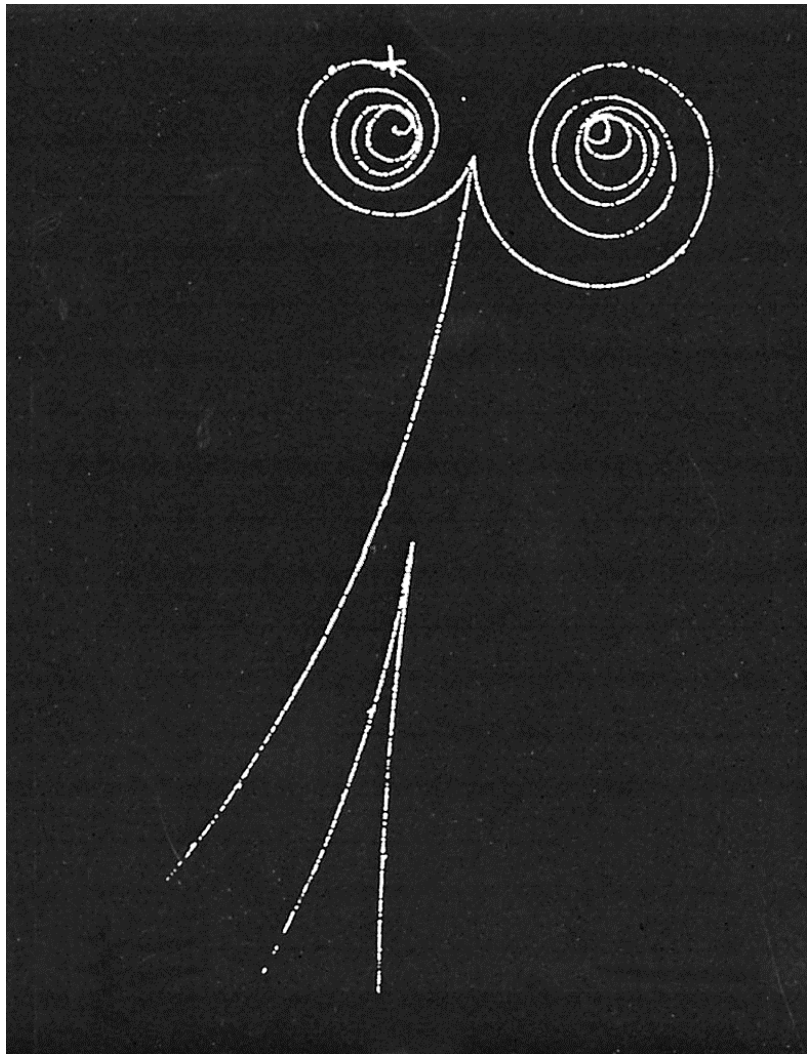


http://de.wikipedia.org/wiki/Blasenkammer

BLASENKAMMER

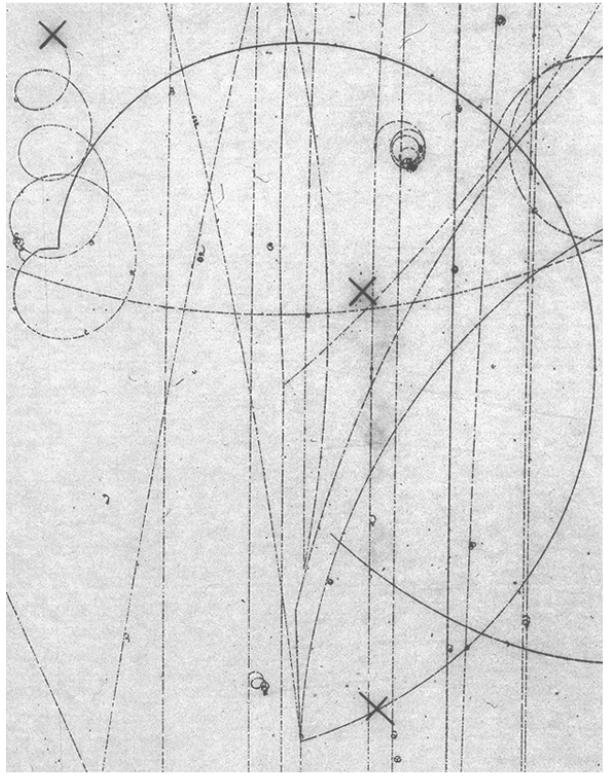
- Nachteile:
  - Höhere Vorsichtsmaßnahmen wegen Brennbaren Flüssigkeiten
  - Extremere Bedingungen (Druck, Temperatur)
- Vorteile:
  - Keine Sekundäreffekte durch schwere Kerne
  - Höhere Ortsauflösung
- Aus heutiger Sicht:
  - Zu klein
  - Keine Elektronische Datenauswertung
  - Datenauslesen zu langsam

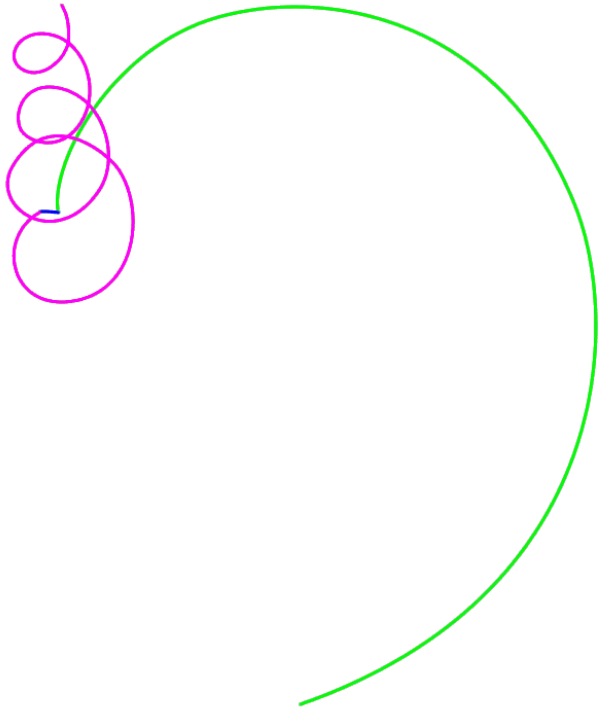
BLASENKAMMER: PAARBILDUNG

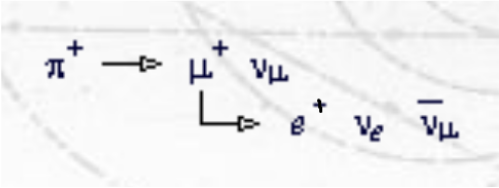


Credit: Courtesy of the Lawrence Berkeley Laboratory, the University of California, Berkeley

BLASENKAMMER: PIONEN



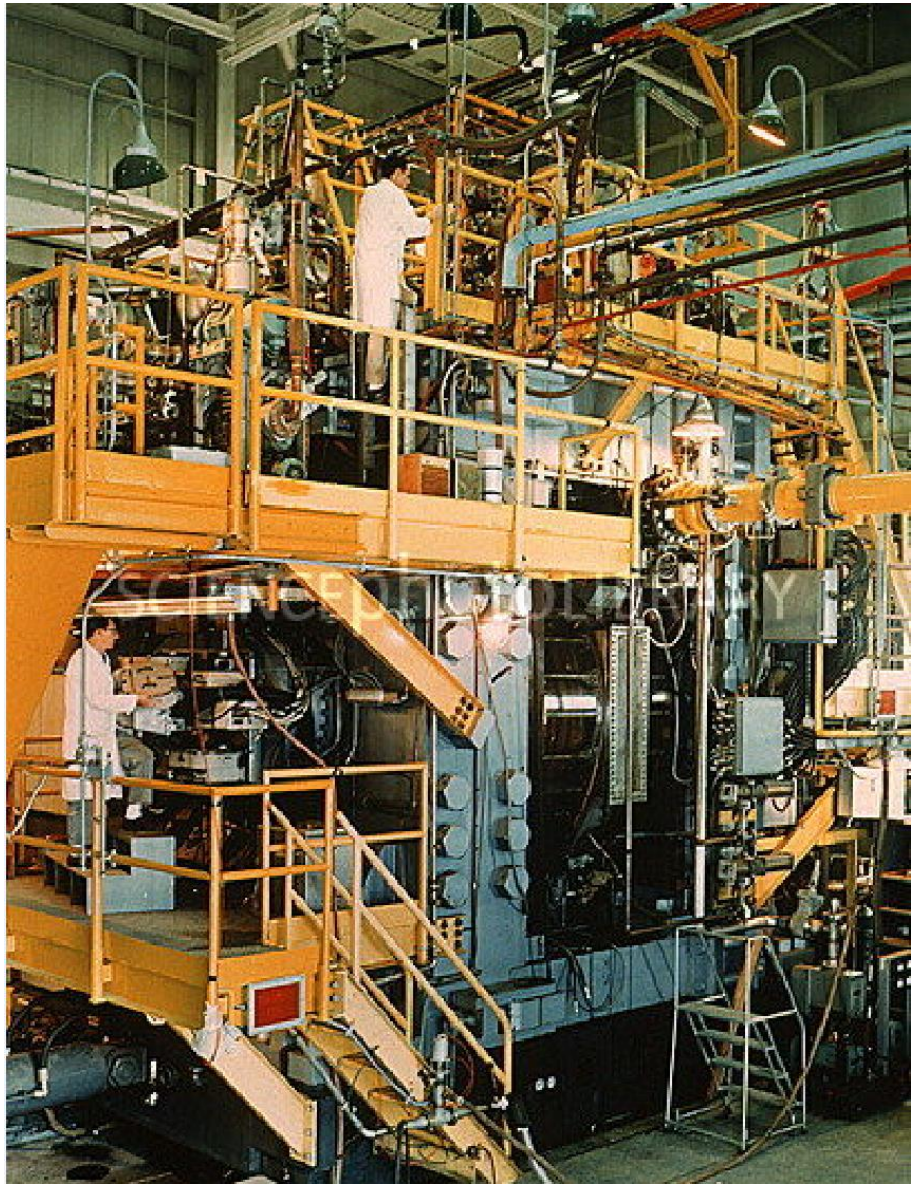




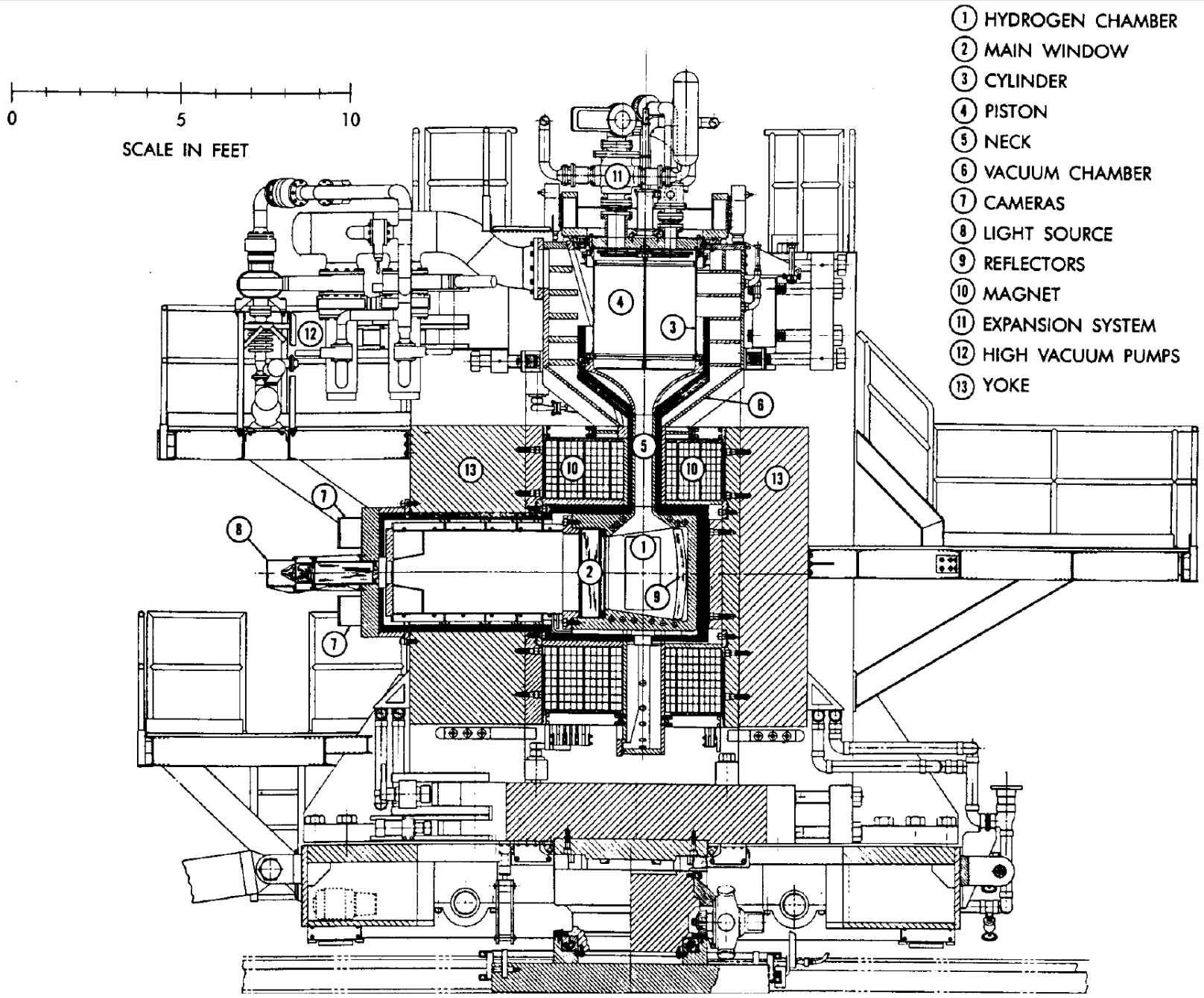
http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2005/bubble_chambers/BCwebsite/gallery/gal3_chargedpion1.htm

EXPERIMENT: DETEKTOR

- 80“ Hydrogen Bubble Chamber
- Durchmesser 2m
- Flüssigkeit: 26K
- Genauigkeit: im µm Bereich
- Expansion: 15ms, 1.2cm Kolbenbewegung
- 2T Magnetfeld

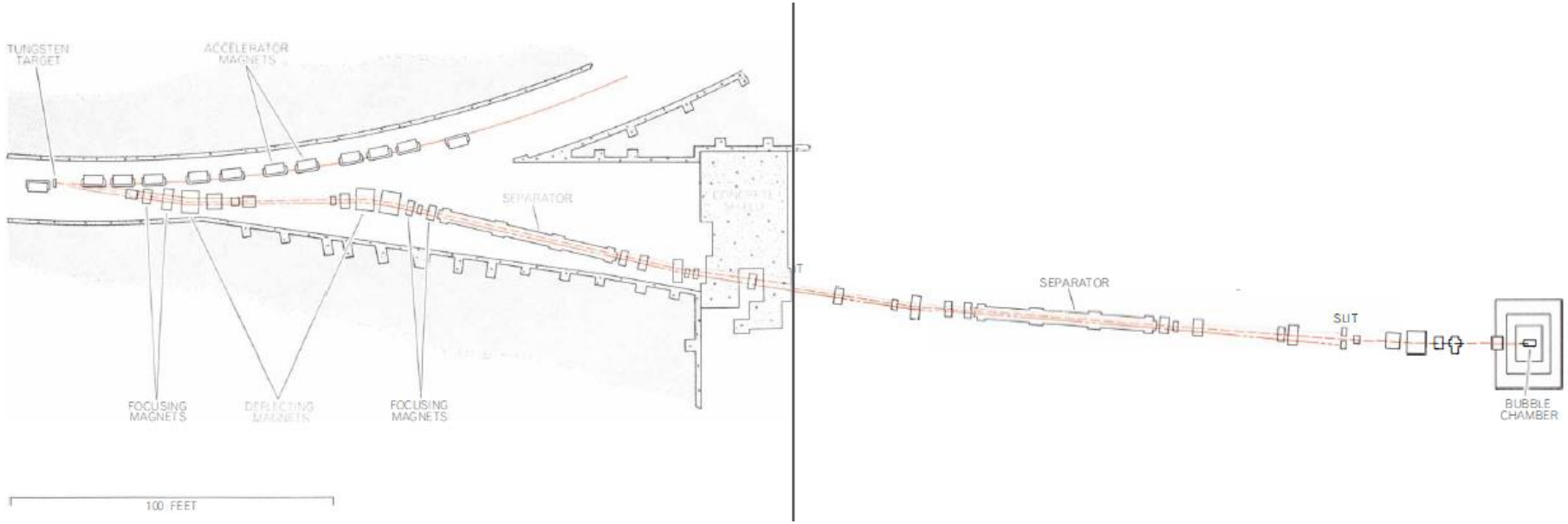


http://www.sciencephoto.com/media/658/view

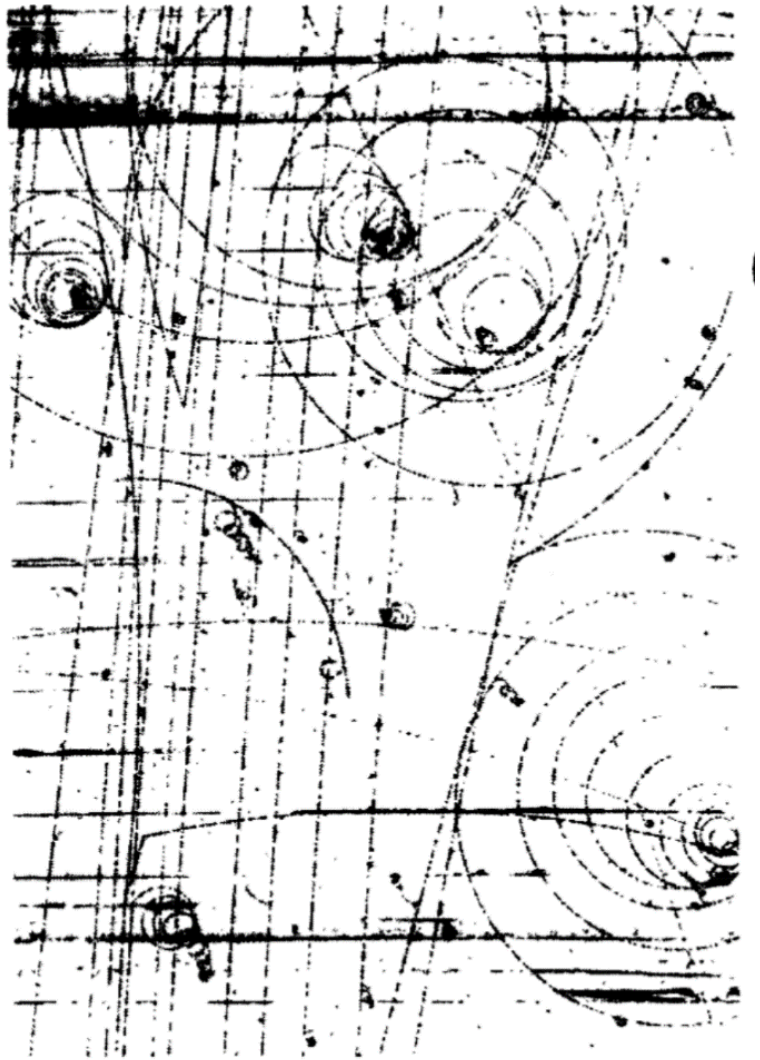

0
5
10
SCALE IN FEET
1 HYDROGEN CHAMBER
2 MAIN WINDOW
3 CYLINDER
4 PISTON
5 NECK
6 VACUUM CHAMBER
7 CAMERAS
8 LIGHT SOURCE
9 REFLECTORS
10 MAGNET
11 EXPANSION SYSTEM
12 HIGH VACUUM PUMPS
13 YOKE

EXPERIMENT: ABLAUF

- AGS schießt auf Wolfram Target – Ablenkung – Fokussierung - diverse Selektionsschritte
- An Blasenkammer:
Strahl bestimmter Teilchen definierter Energie und variabler Intensität



EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL



$$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$$

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$$

$$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$$

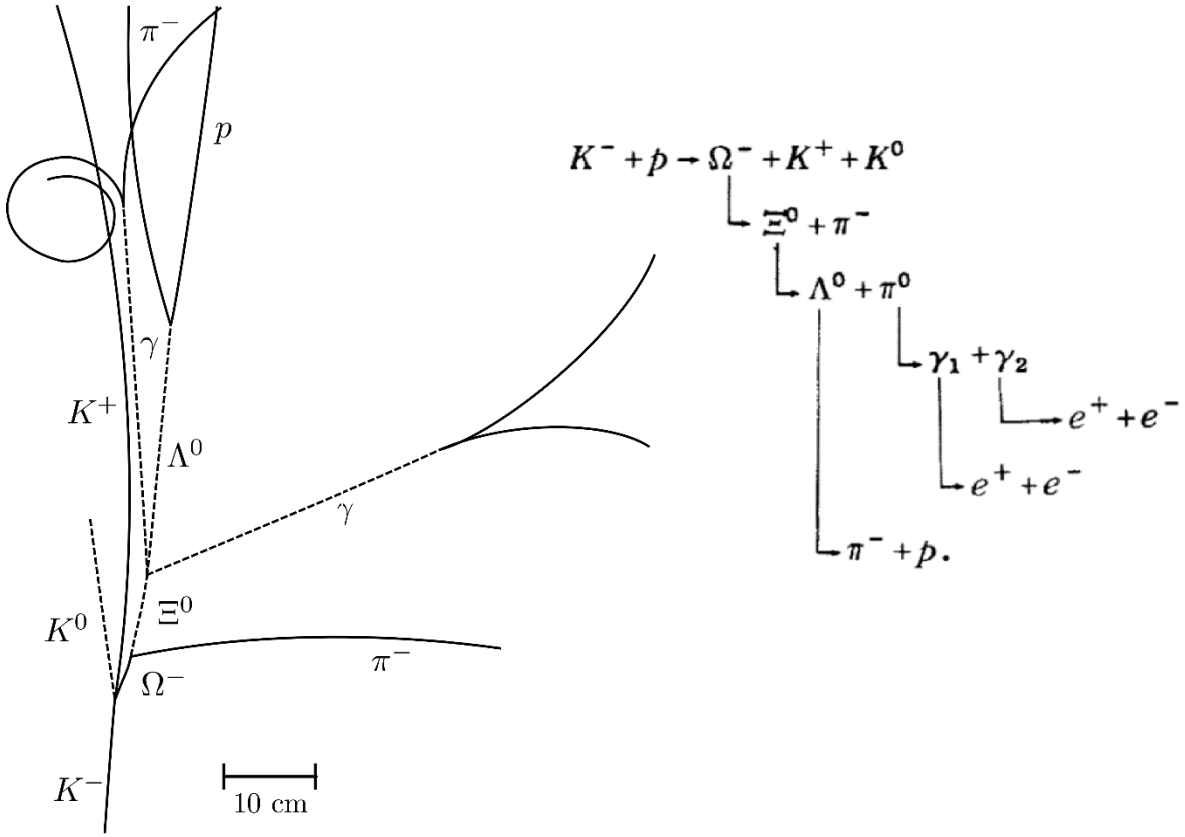
$$\pi^0 \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$$

$$\gamma_2 \rightarrow e^+ + e^-$$

$$\gamma_1 \rightarrow e^+ + e^-$$

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p.$$

EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (0/7)



$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$

$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$

$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$

$\pi^0 \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$

$\gamma_2 \rightarrow e^+ + e^-$

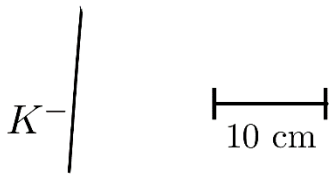
$\gamma_1 \rightarrow e^+ + e^-$

$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p.$

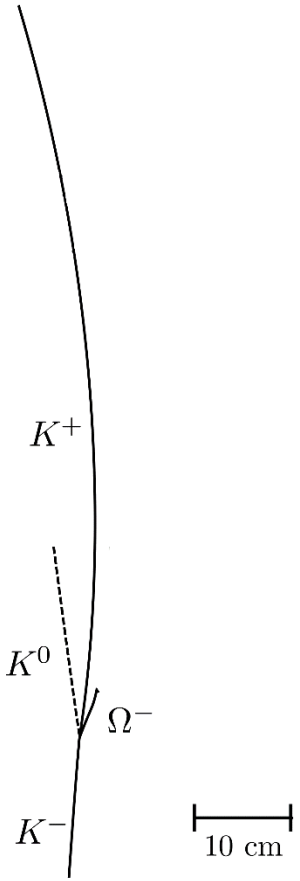
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Omega_Baryon.svg

EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (1/7)

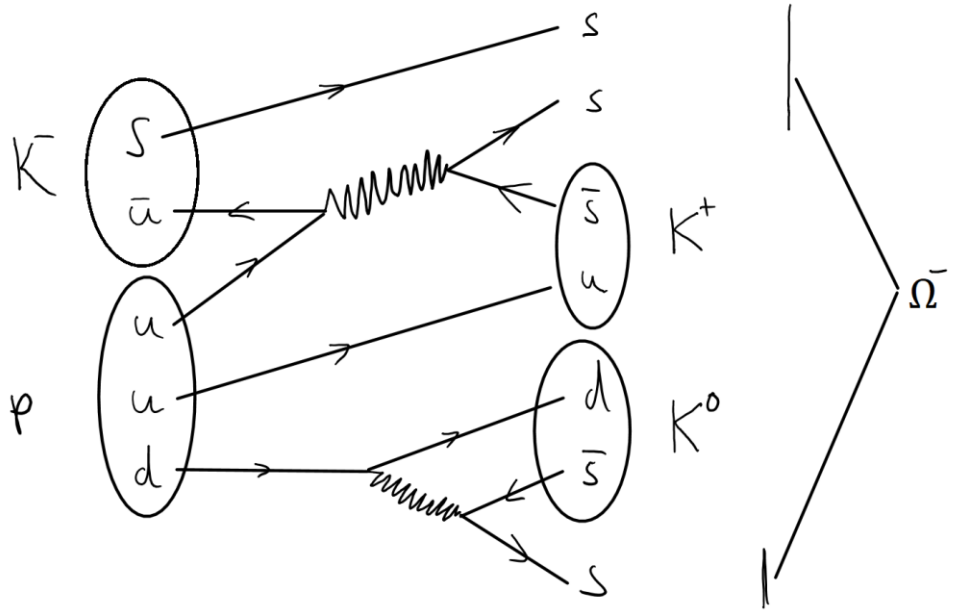
$K^- + p$



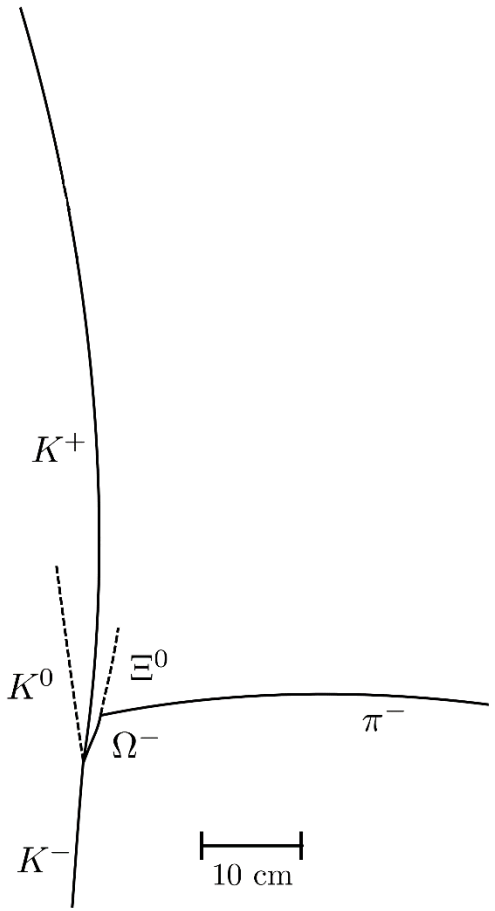
EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (2/7)



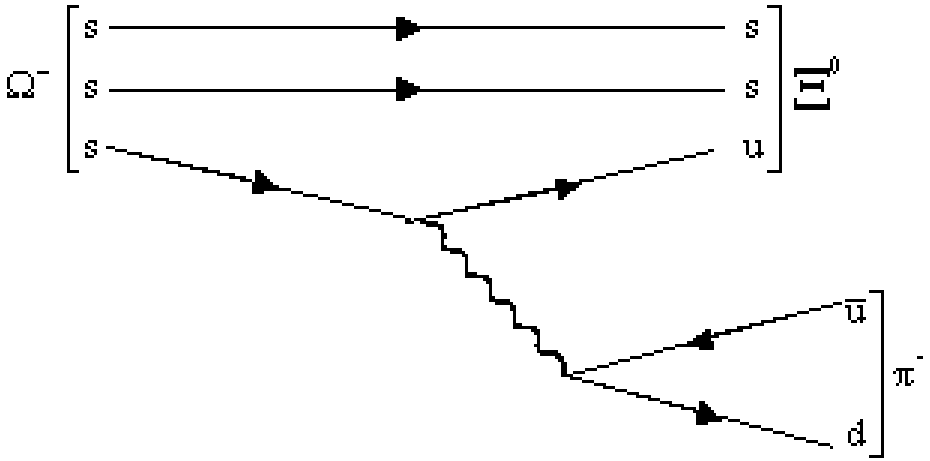
$$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$$



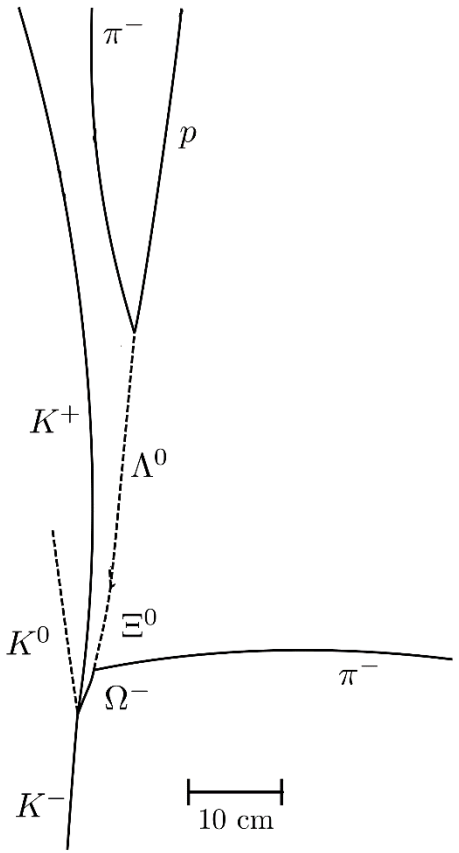
EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (3/7)

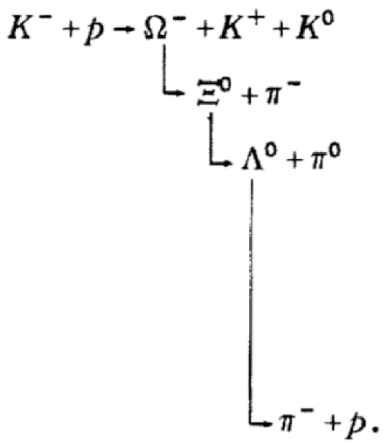


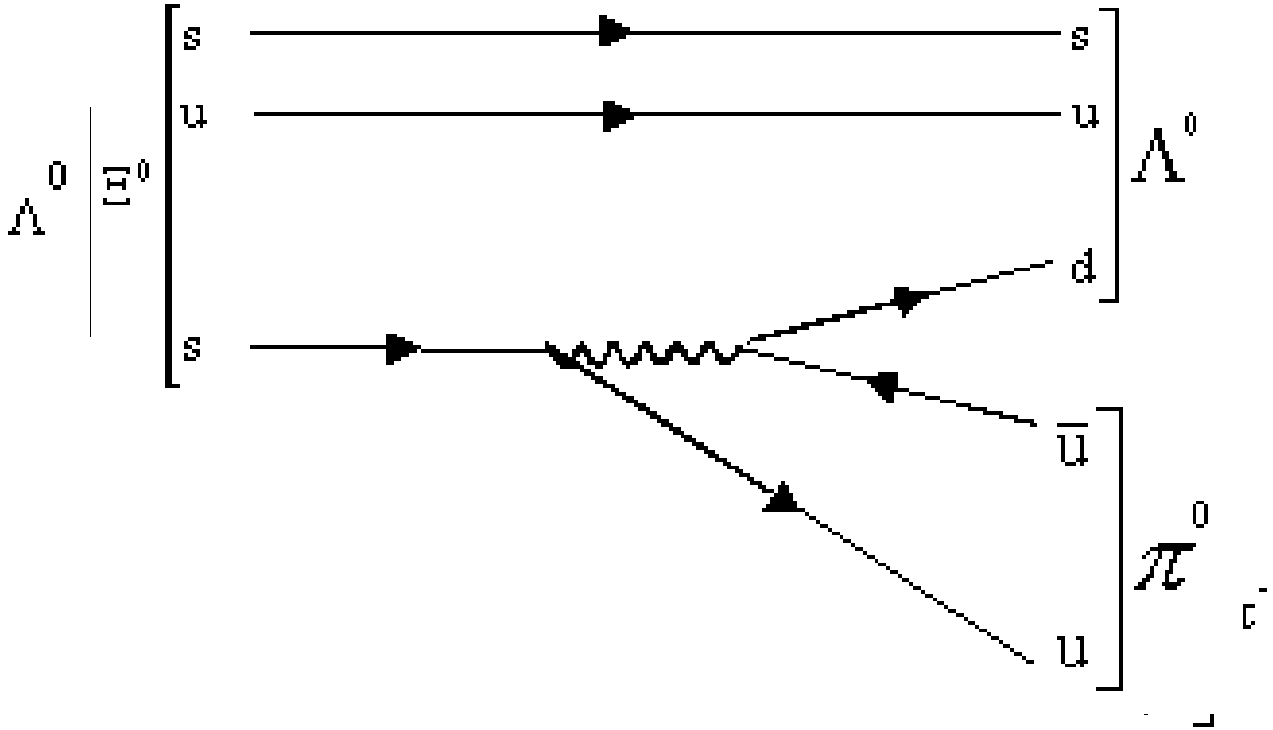
$$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$$
$$\hookrightarrow \Xi^0 + \pi^-$$



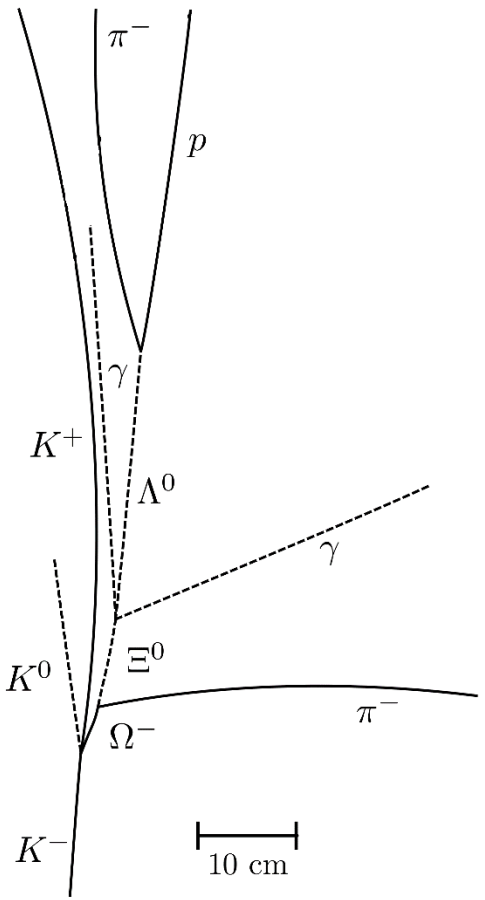
EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (4/7)

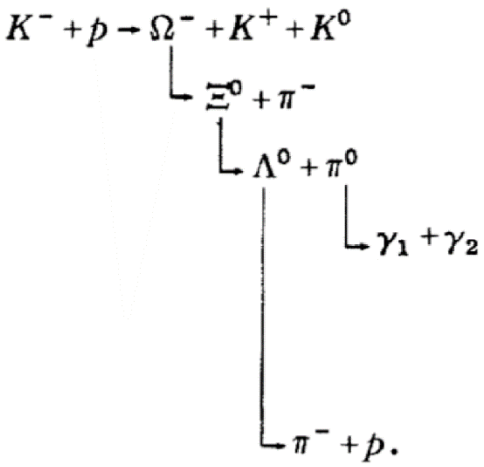


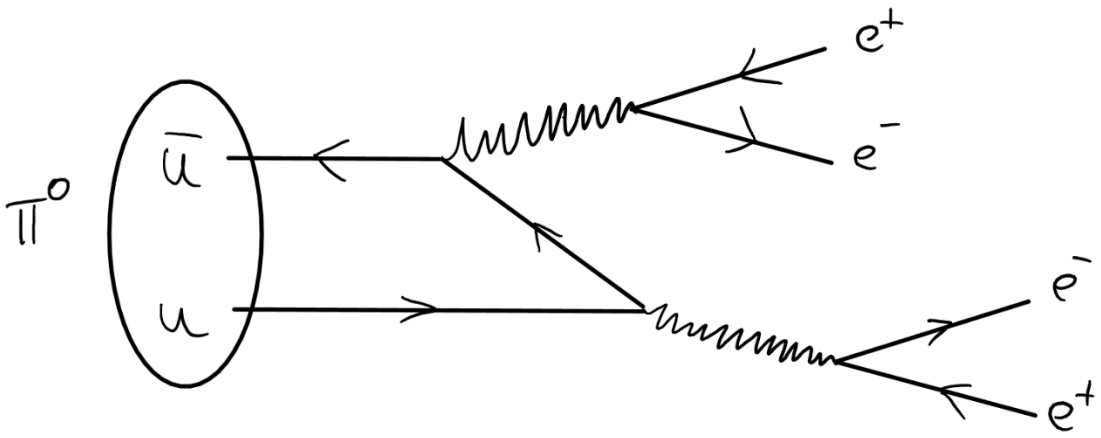




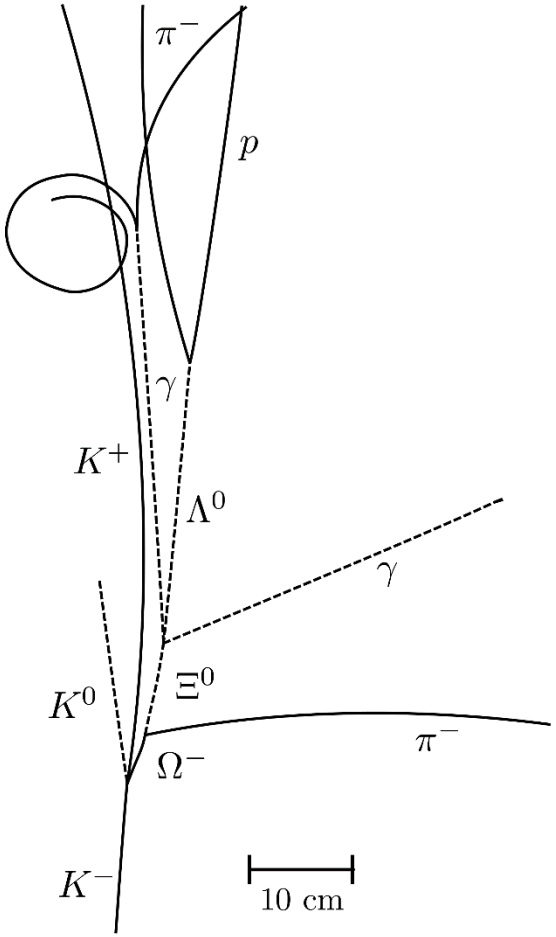
EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (5/7)

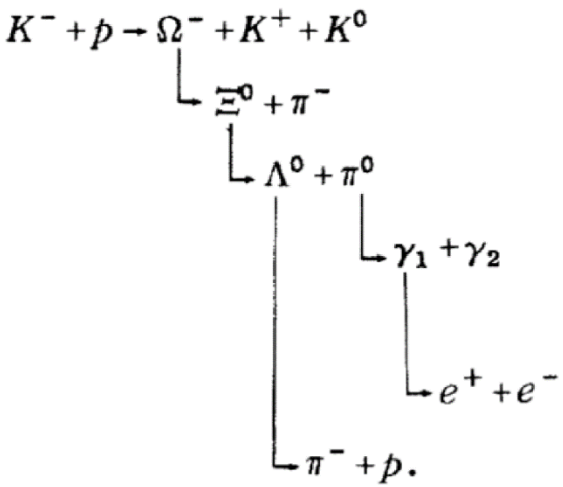




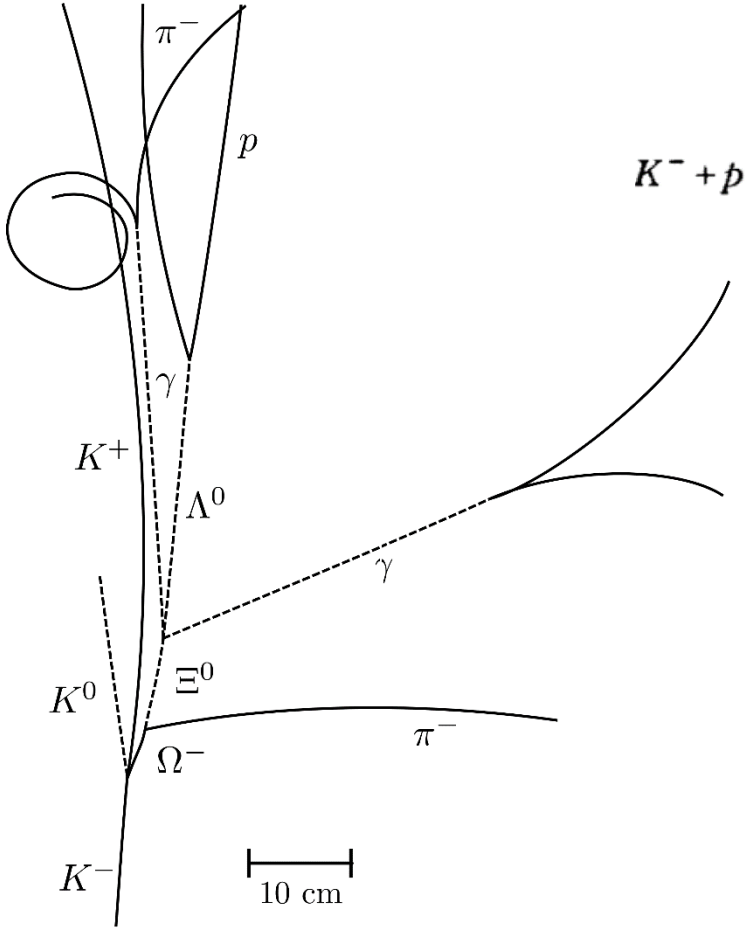


EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (6/7)





EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL (7/7)



$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$

$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$

$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$

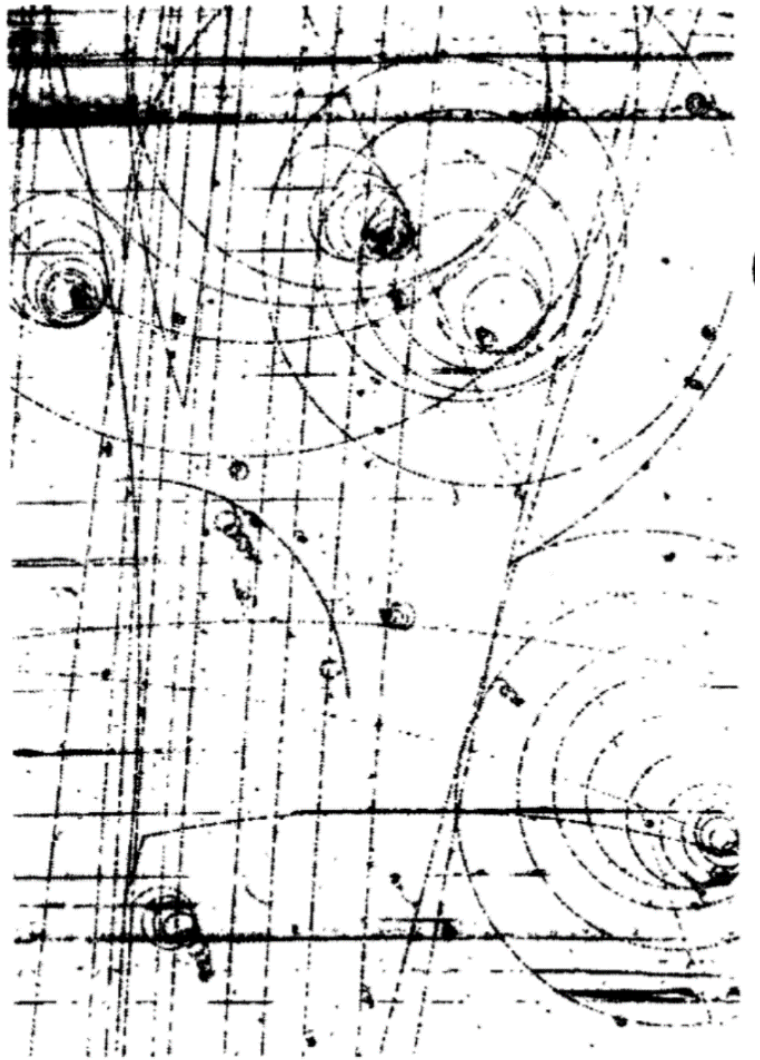
$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p.$

$\pi^0 \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$

$\gamma_1 \rightarrow e^+ + e^-$

$\gamma_2 \rightarrow e^+ + e^-$

EXPERIMENT: ERSTER ZERFALL



$$K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$$

$$\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$$

$$\Xi^0 \rightarrow \Lambda^0 + \pi^0$$

$$\Lambda^0 \rightarrow \pi^- + p.$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2$$

$$\gamma_1 \rightarrow e^+ + e^-$$

$$\gamma_2 \rightarrow e^+ + e^-$$

EXPERIMENT: DISKUSSION DES ZERFALLS

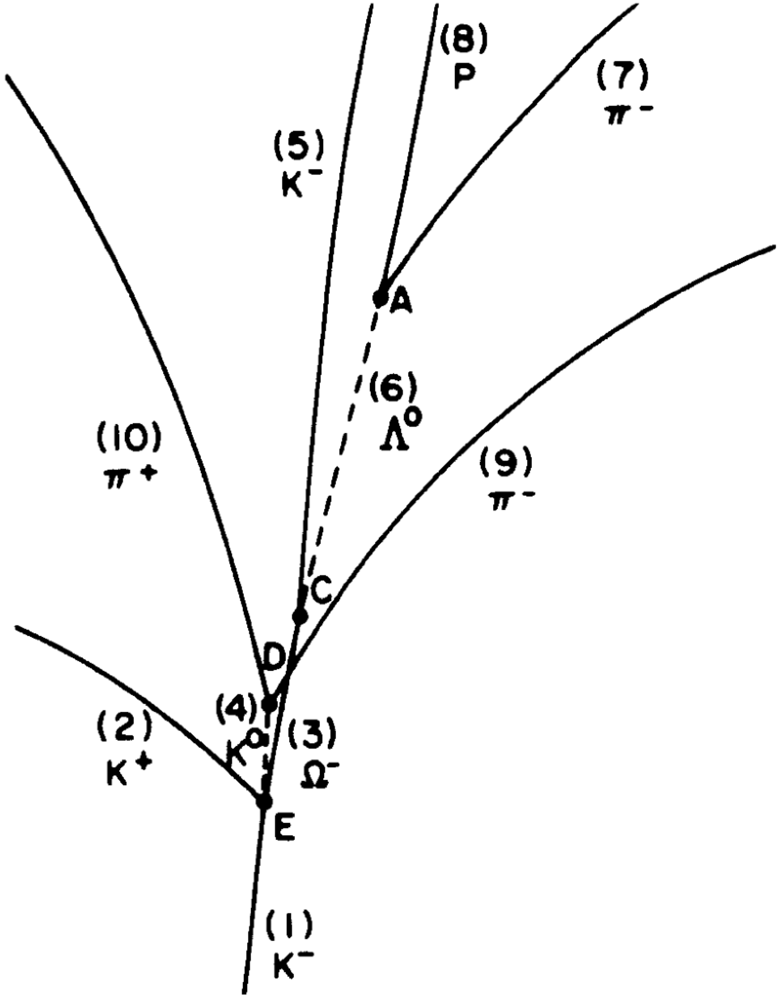
- Analyse beginnt bei Produkten
- Beispielhaft: Zerfall von Λ^0
  - Blasendichte der Protonenspur
  - Analyse der Produkte ergibt richtige Masse
  - Invariante Masse: $\sqrt{\left(\sum_j p_{fin,j}\right)^2} = \sqrt{p_{V-Teilchen}^2} = m$
  - Λ^0 zeigt nicht auf Ω^- Vertex
- Iterieren

EXPERIMENT: DISKUSSION DES ZERFALLS

Eigenschaften des Ω^-

- großer transversaler Impuls bei Zerfall, kein Zerfall mit $\Delta S = 2$
$\Rightarrow$ neues Teilchen
- Lebenszeit: $0.7 \cdot 10^{-10}$s also $S = -3$
- Masse: (1668-1686)MeV, Vorhersage 1676 MeV

EXPERIMENT: ZWEITER ZERFALL



$$K^- p \to \Omega^- K^+ (K^0)$$

$$\qquad\qquad\qquad\qquad \lfloor \pi^+ \pi^-$$

$$\lfloor \; \Lambda^0 K^-$$

$$\qquad \lfloor \pi^- \pi^- \pi^+$$

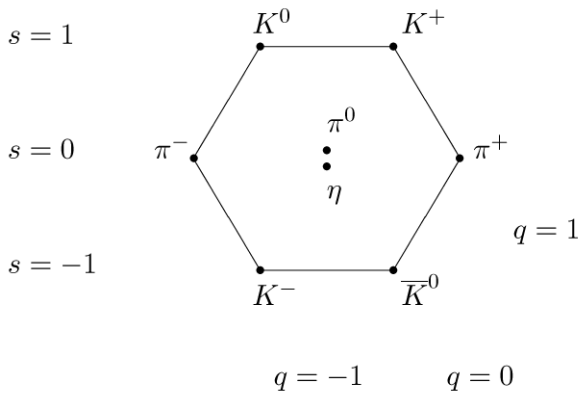
$$\lfloor \; p \pi^-$$

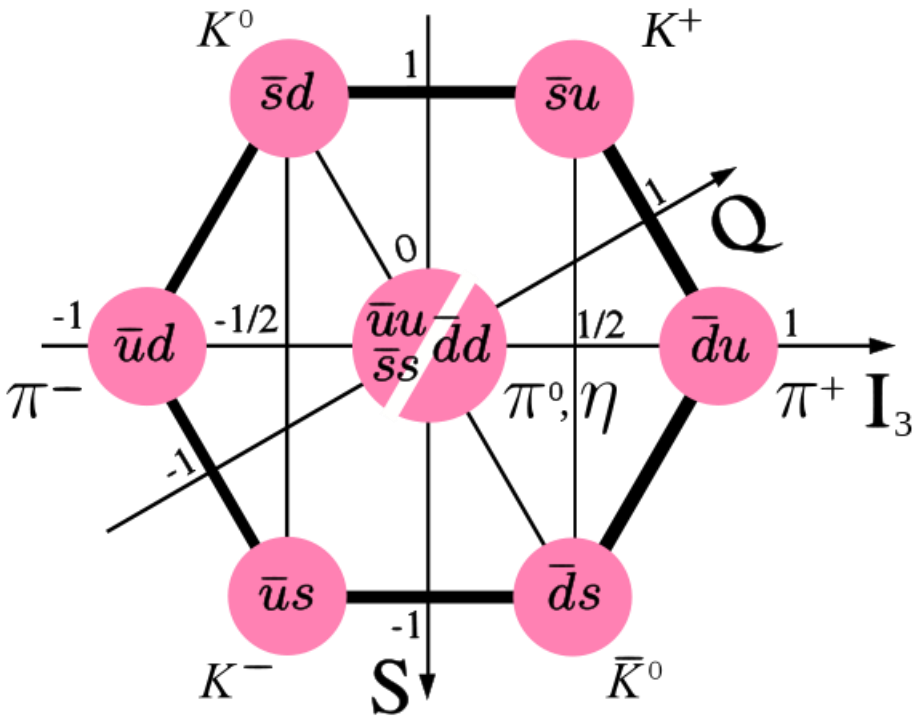
EIGENSCHAFTEN DES Ω^- AUS HEUTIGER SICHT

Masse	(1672.45±0.29)MeV
Zerfallszeit	$(8.2 \pm 0.11) \cdot 10^{-11}$ s
Quarkinhalt	sss
Zerfallskanäle	

$\Lambda\ K^-$	(67.8±0.7) %
$\Xi^0\ \pi^-$	(23.6±0.7) %
$\Xi^-\ \pi^0$	(8.6±0.4) %

VORHERSAGE: MESONEN OKTETT

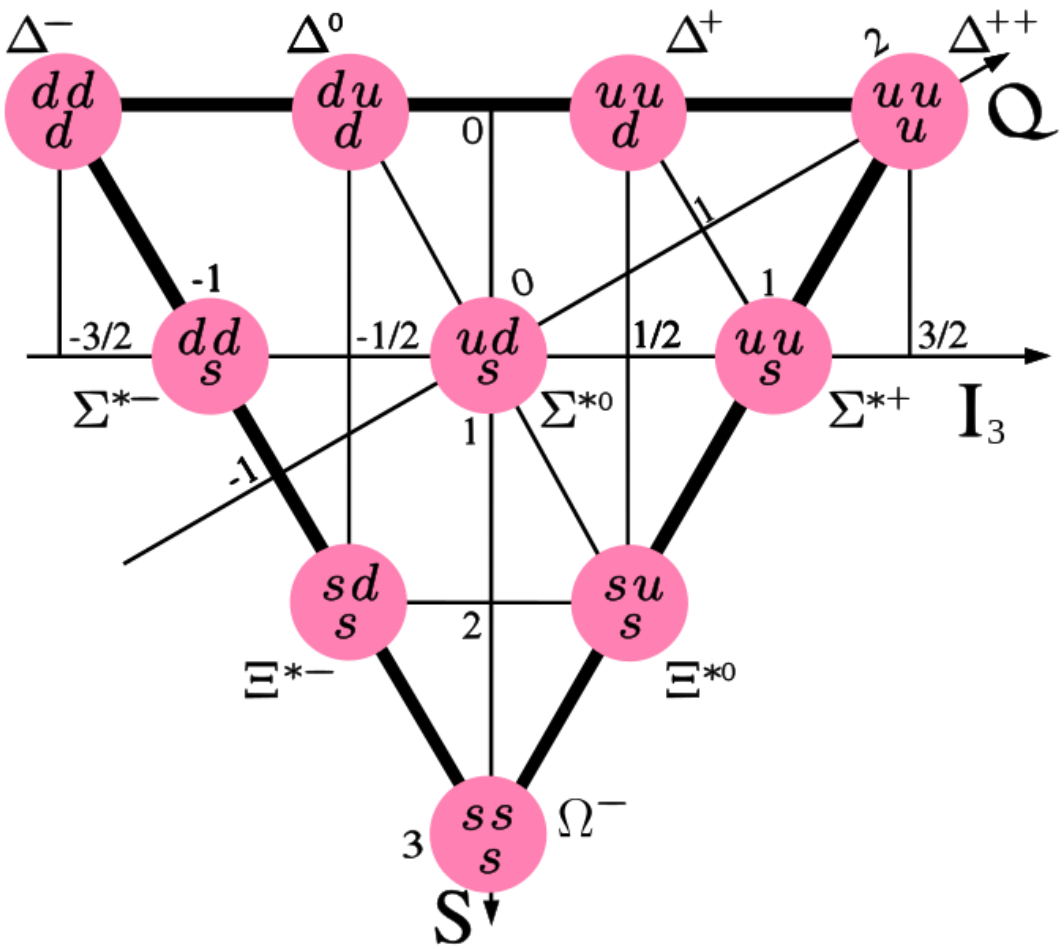




http://en.wikipedia.org/wiki/Eightfold_Way_%28physics%29

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

VORHERSAGE: BARYONEN DEKUPLETT



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

AUSWIRKUNGEN

- Nobelpreis für Gell-Mann 1969
- Ordnung der 80+ Teilchen
- Einführung des Quark Modells und der Farbladung
- Formulierung der QCD und des Standardmodells

LITERATUR

Fowler, W.B. u.a.: Brookhaven national laboratory 80 hydrogen bubble chamber status and plans. In: *Nuclear Instruments and Methods* 20 (1963), S. 100 – 109

Barnes, V. E. u.a.: Observation of a Hyperon with Strangeness Minus Three. In: *Physical Review Letters* 12-8 (1964), S. 204–206

Beth, R. A. ; Lasky, C.: The Brookhaven Alternating Gradient Synchrotron. In: *Science* 128 (1958), S. 1393 – 1401

Chew, G. F. ; Gell-Mann, M. ; Rosenfeld, A. H.: Strongly Interacting Particles. In: *Scientific American* 210 (1964), Februar, S. 74–93

Ehrlich, R.: Analysis of Bubble Chamber Photographs. In: *PHYSNET*(2002)

Fowler, W. B. ; Samios, N. P.: The Omega-Minus Experiment. In: *Scientific American* 211 (1964), Oktober, S. 36–45

Glaser, Donald A.: Some Effects of Ionizing Radiation on the Formation of Bubbles in Liquids. In: *Phys. Rev.* 87 (1952), Aug, S. 665–665

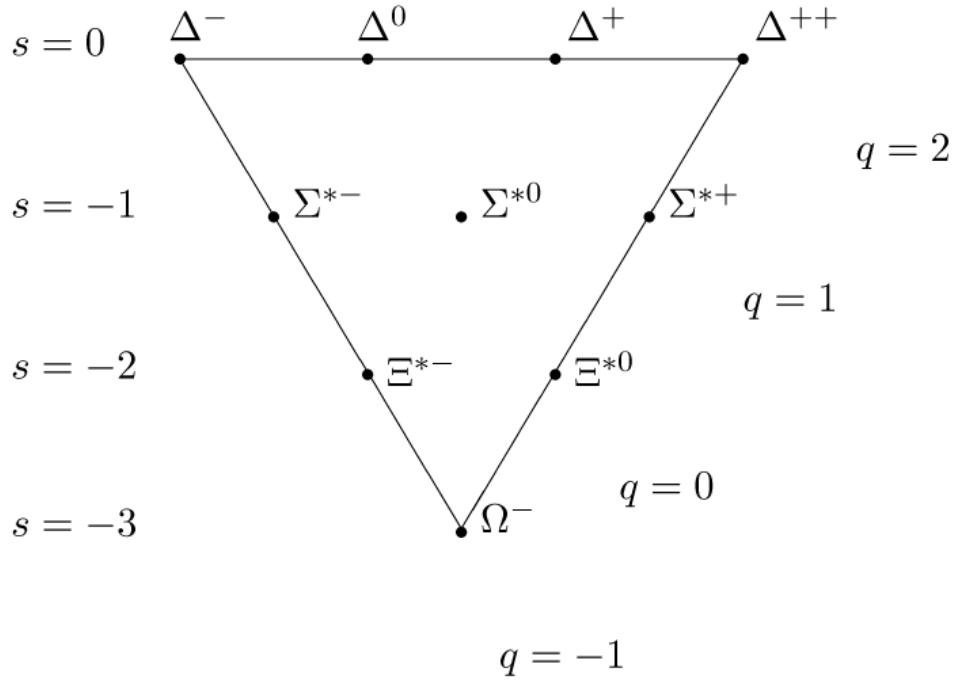
Harigel, G.G.: Bubble Chambers, Technology and Impact on High Energy Physics. In: *Bologna 2003, 30 years of bubble chamber physics* (2003), S. 342–355

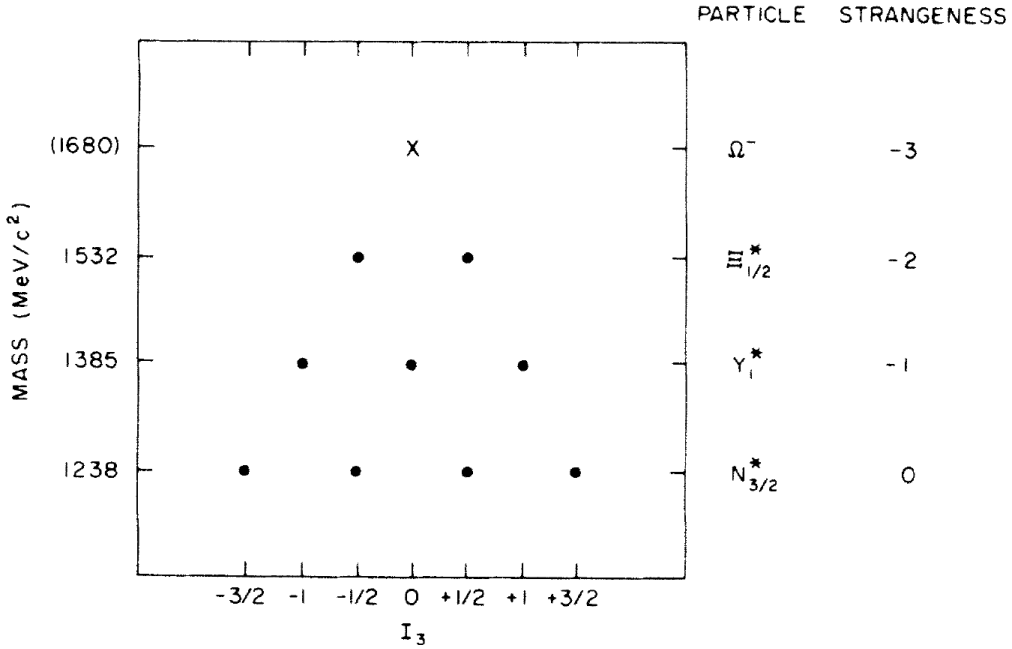
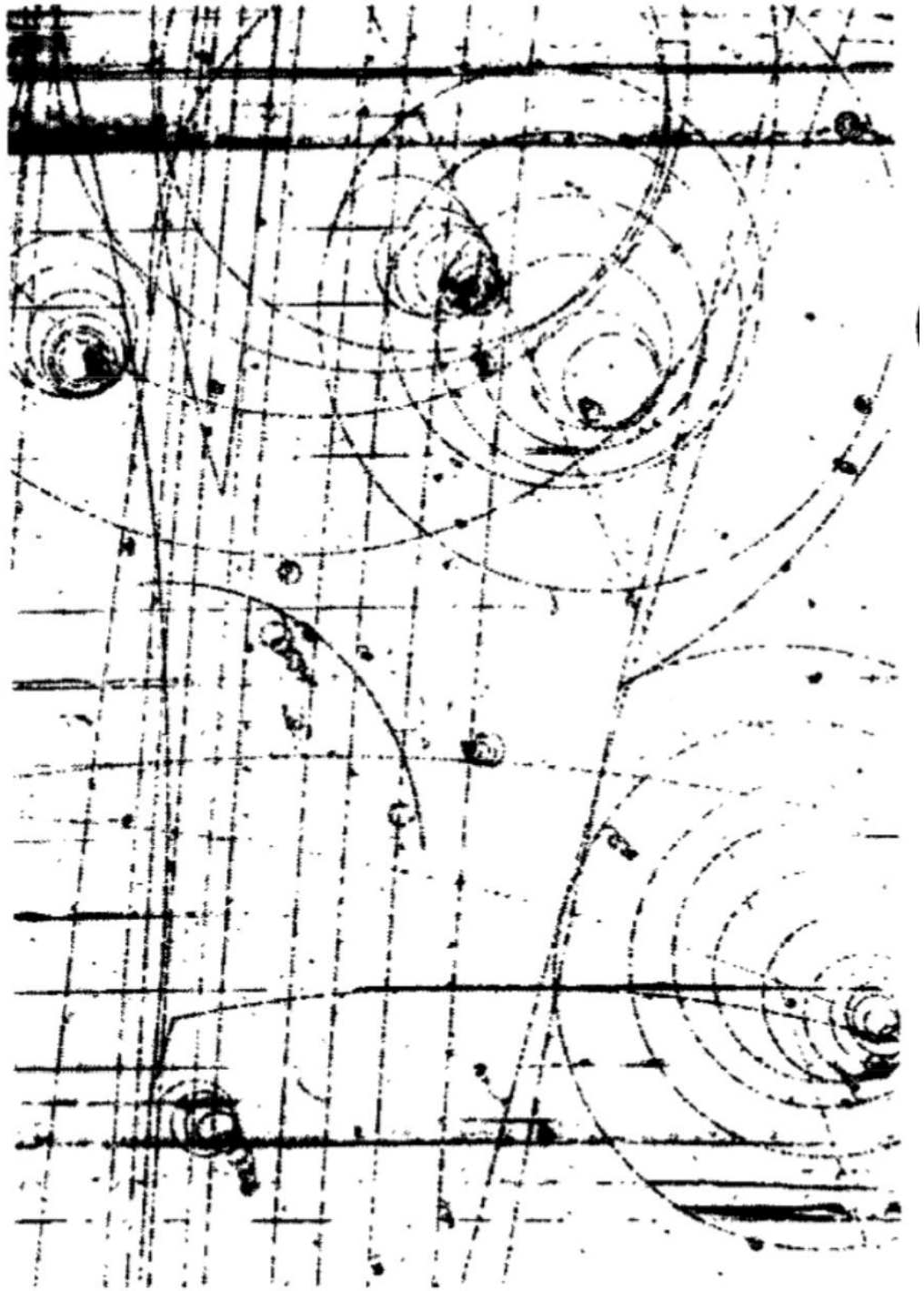
Hinterberger, Frank: *Physik der Teilchenbeschleuniger und Ionenoptik*. 2. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2008

Povh, Bogdan ; Rith, Klaus ; Scholz, Christoph ; Zetsche, Frank ; Rodejohann, Werner: *Teilchen und Kerne*. 9. Aufl. 2014. Berlin, Heidelberg : Springer Spektrum, 2014. – 253ff S.

Wikipedia: *Omega baryon*. http://en.wikipedia.org/wiki/Omega_ baryon. Version:Oktober 2014

Yao, W.-M. u.a. (Particle Data Group), J. Phys. G 33, 1 (2006) (URL: http://pdg.lbl.gov)


$s = 0$
Δ^-
Δ^0
Δ^+
Δ^{++}
$q = 2$
$s = -1$
Σ^{*-}
Σ^{*0}
Σ^{*+}
$q = 1$
$s = -2$
Ξ^{*-}
Ξ^{*0}
$q = 0$
$s = -3$
Ω^-
$q = -1$


PARTICLE
STRANGENESS
MASS (MeV/c²)
(1680)
1532
1385
1238
X
Ω^-
$\Xi^*_{1/2}$
Y^*_1
$N^*_{3/2}$
-3
-2
-1
0
-3/2
-1
-1/2
0
+1/2
+1
+3/2
I_3