

Kern- und Teilchenphysik

SS2012

Vorlesung-Website

Johannes Blümer

Heute: Ralf Ulrich
Vertretung

Do 3. Mai

KIT-Centrum Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik KCETA



Übergangsstrahlung, Fluoreszenz, Radioemission

Übergangsstrahlung

$$I = \frac{\gamma q^2 (\omega_1 - \omega_2)^2}{3c} \propto \gamma = \frac{E}{m}$$

$$\theta = \frac{1}{\gamma}$$

Fluoreszenzlicht (in N₂)

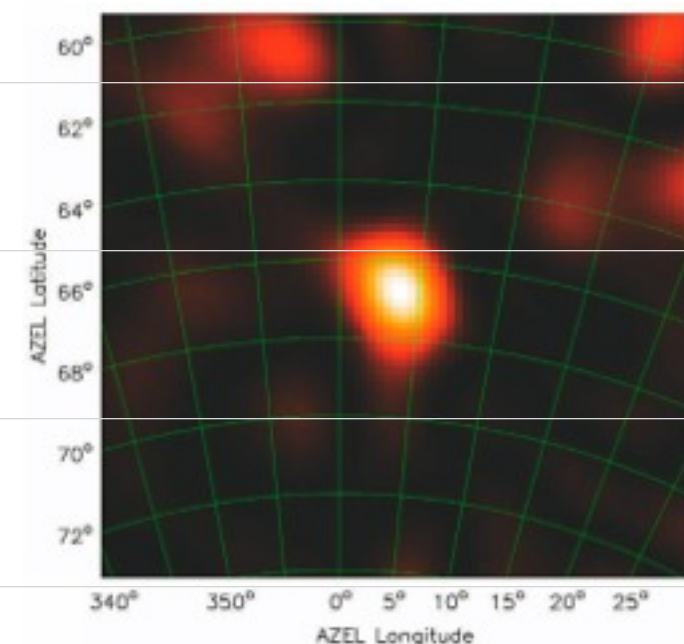
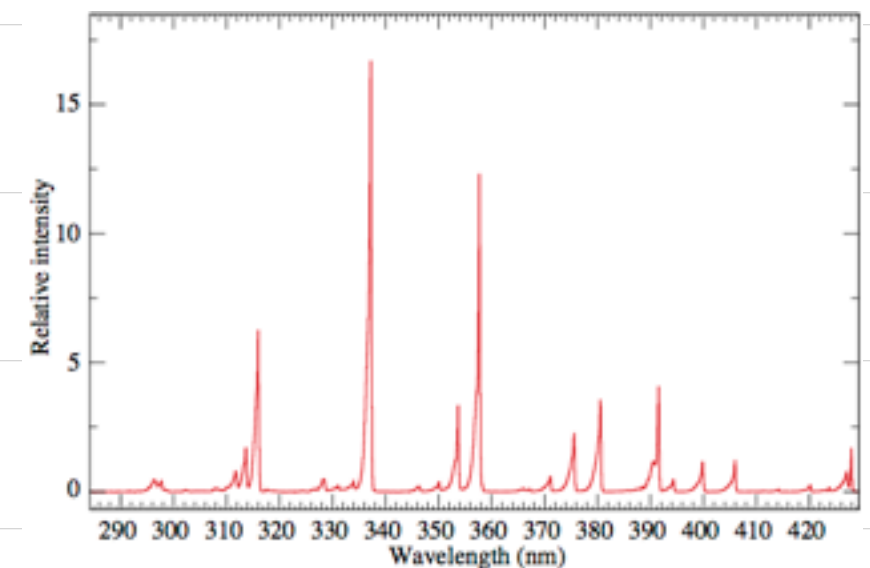
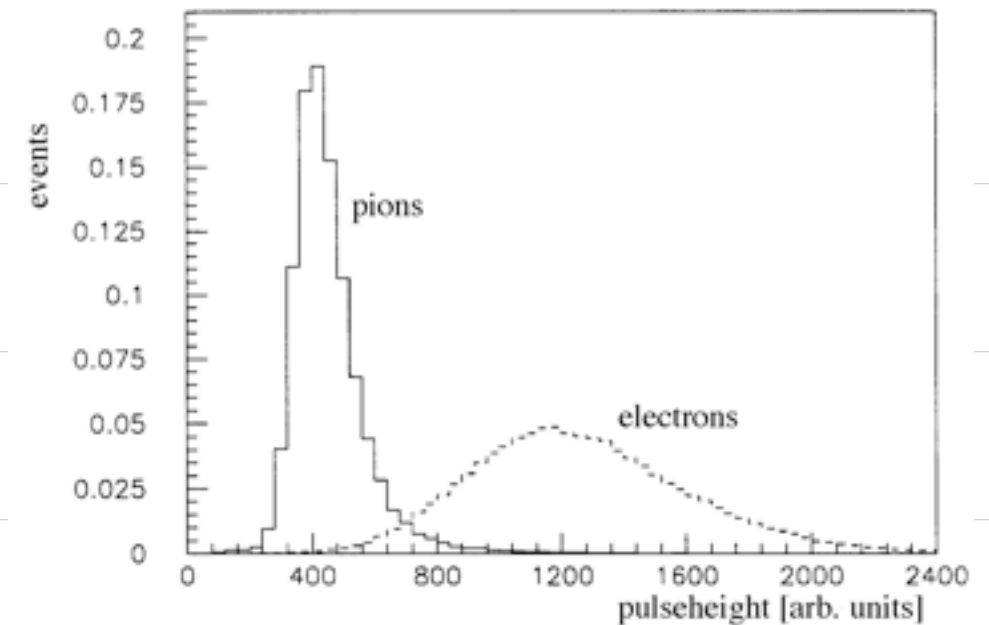
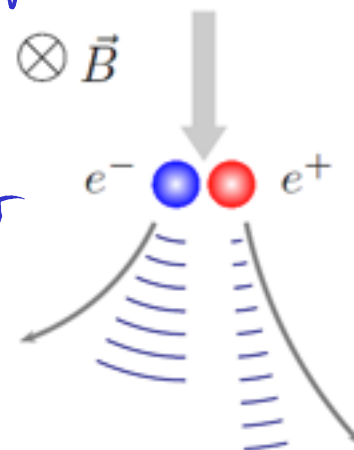
Luftschauer der kosmischen Strahlung

- Elektronen in Luft (N₂)
- Effekt abhängig von Druck, Temperatur, Luftfeuchte...

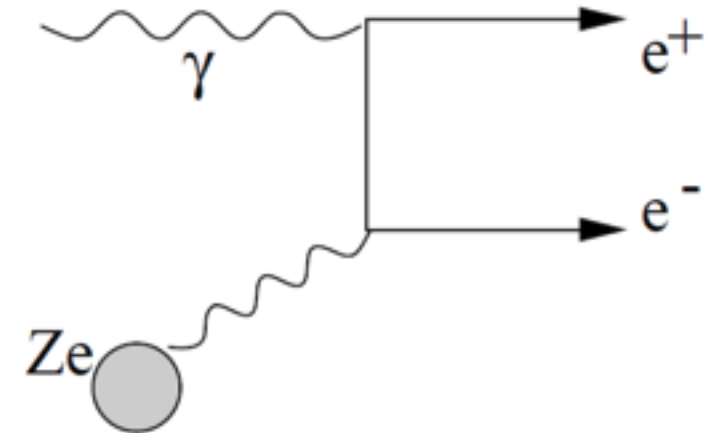
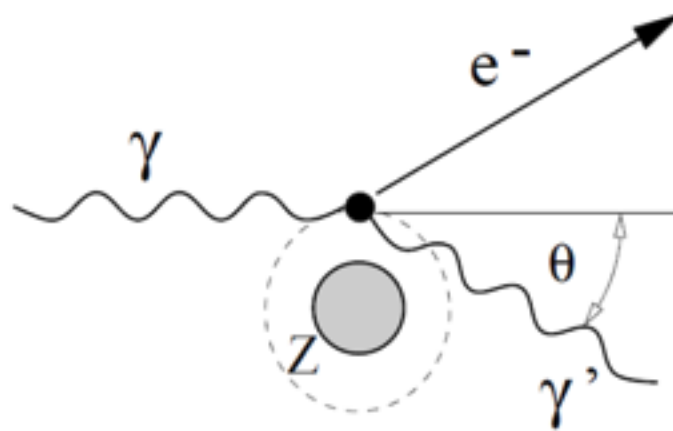
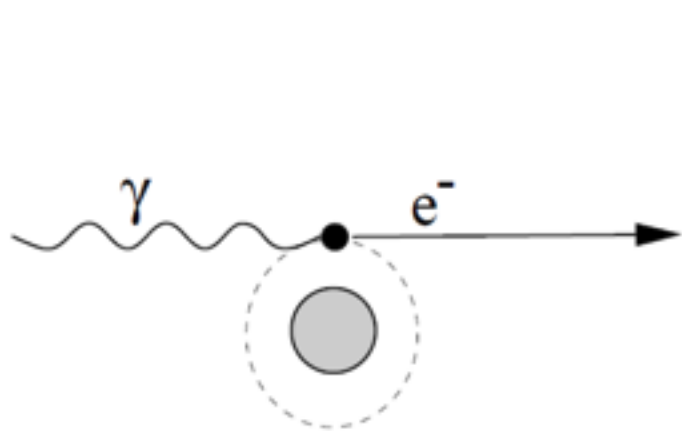
Radioemission (von Schauern)

Elektromagnetische Schauer

- Ladungstrennung
- Ladungen im B-Feld



Photonen: Photoeffekt, Comptonstreuung, Paarbildung



$$\sigma_{\text{photo}} \propto Z^{4...5} / E_{\gamma}^m$$

- Schalenstruktur

- $m=3$ (leichte Kerne)

... $m=2,5$ (schwere Kerne)

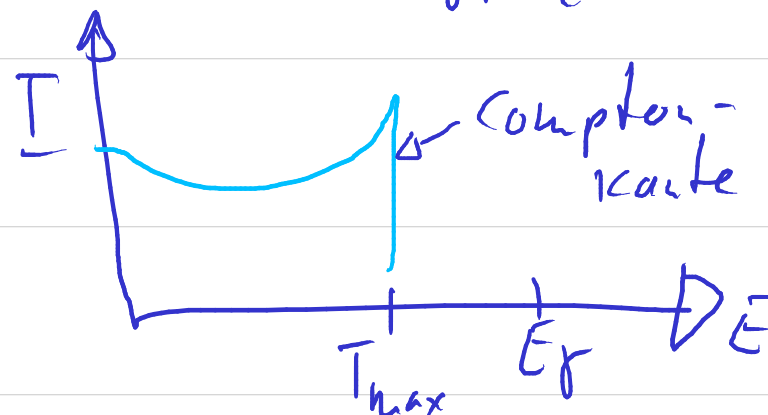
Angeregtes Atom
emittiert eV-Photon
oder Auger Elektron

$$\sigma_{\text{Compton}} \propto N(e^-) \propto Z$$

- max Energieübertrag

$$T_{\text{max}} = E_{\gamma} \frac{2E}{1+2E}$$

$$E = E_{\gamma} / m_e c^2$$



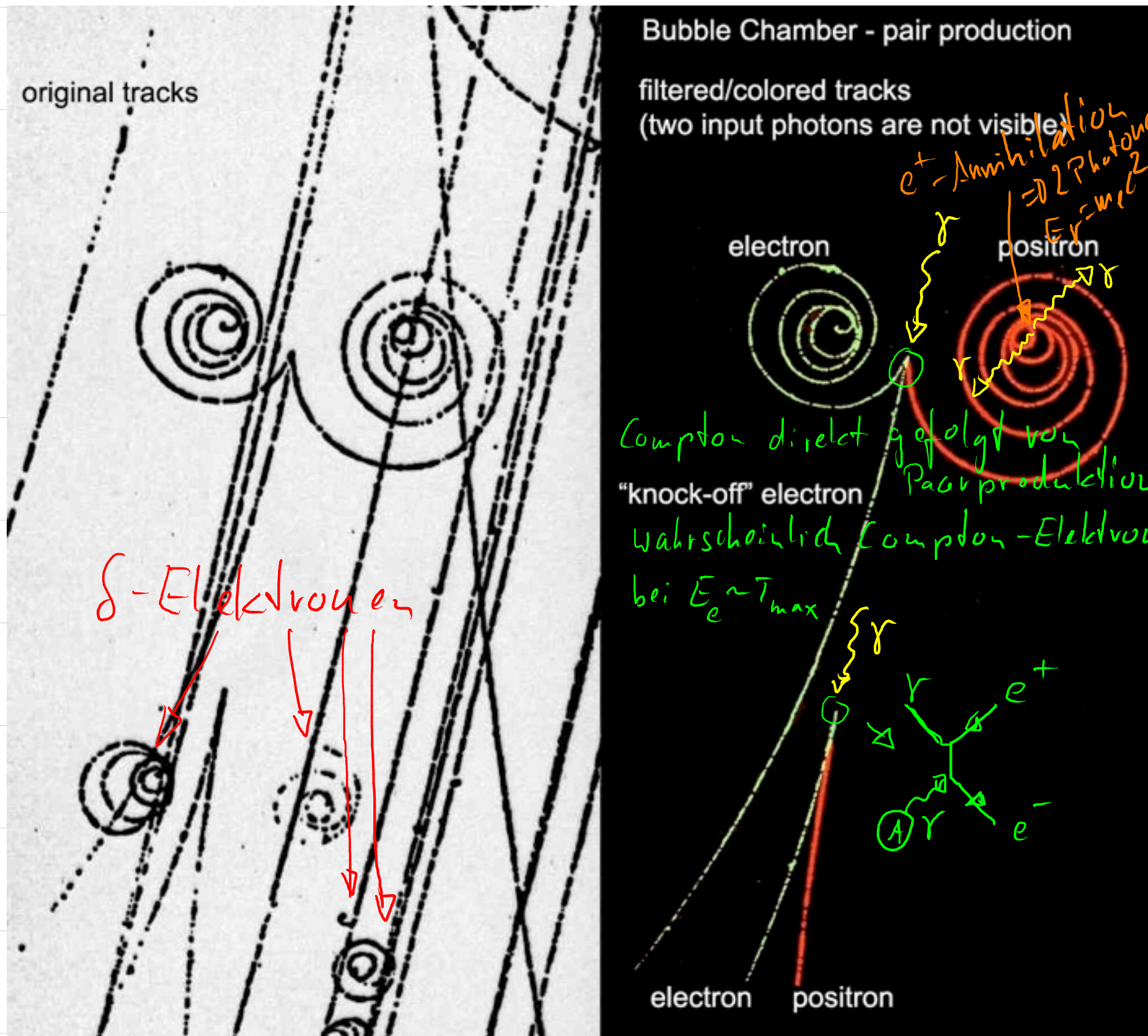
$$\sigma_{\text{paar}} \propto Z^2$$

- oberhalb Energieschwelle
 $E_{\gamma} > 2m_e c^2$

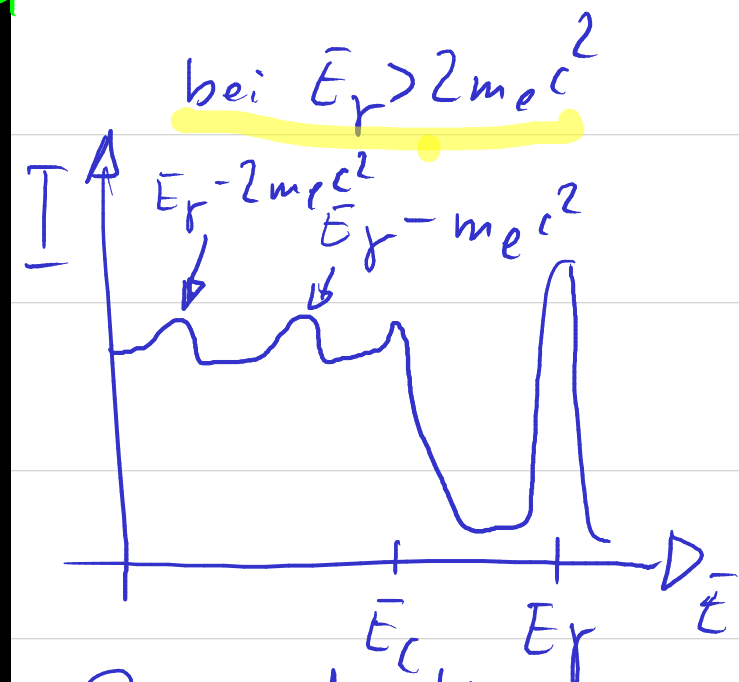
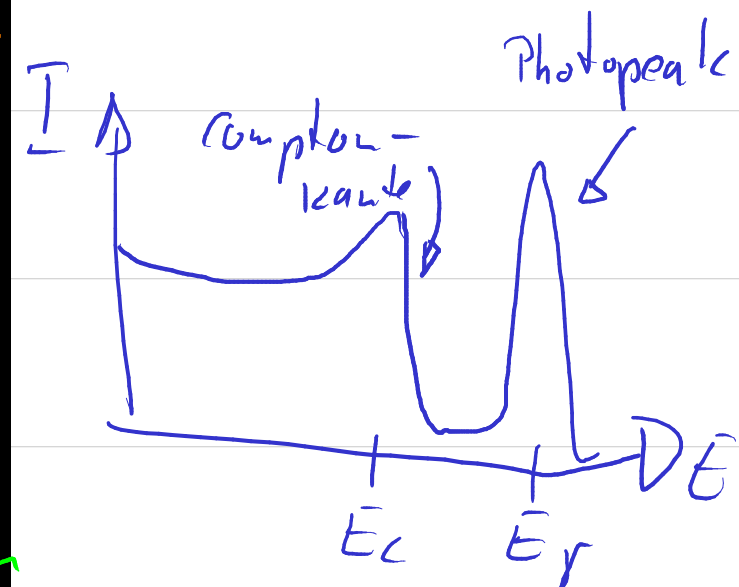
bei hohen Energien

$$\sigma_{\text{paar}} = \frac{7}{9} \frac{1}{h} \frac{1}{X_0}$$

Paarbildung und -Vernichtung in Blasenkammer



γ -Spektroskopie



- Paarproduktion
- Positron - Annihilation
- Randeffekt: mc^2 -Photonen gehen verloren

Intensität

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

μ : Massenabsorptionskoeffizient

$$\mu = \frac{1}{\lambda} = n \cdot \sigma$$

λ : mittlere freie Weglänge

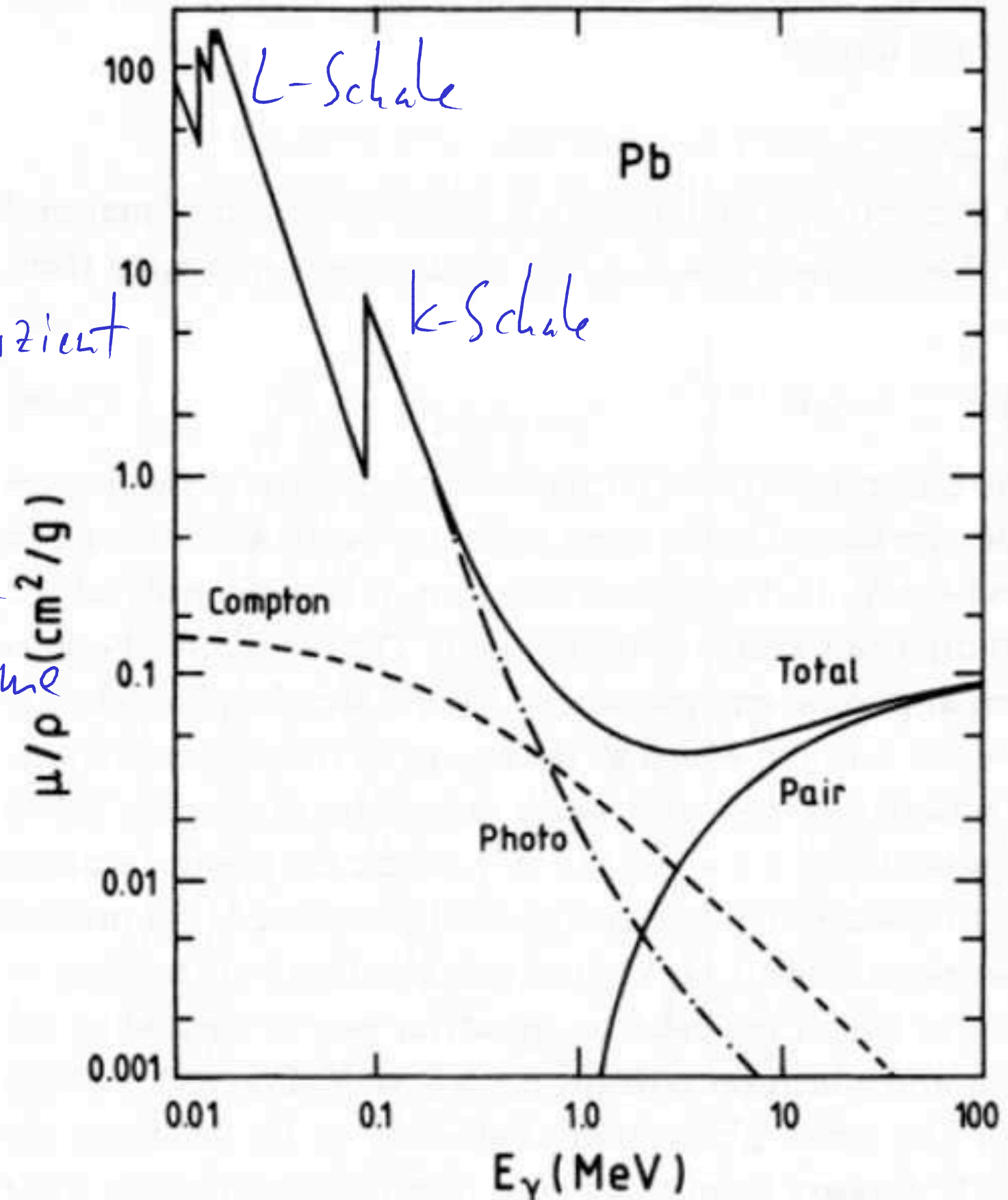
n : Raumdichte Medienatome

$$n = N_A \cdot \rho / A$$

N_A : Avogadro-Zahl
 A : Atomgewicht

$$\sigma = \sigma_{\text{photo}} + \sigma_{\text{compton}} + \sigma_{\text{paar}}$$

Fig. 1.3. Mass absorption coefficient μ/ρ for photons in lead.



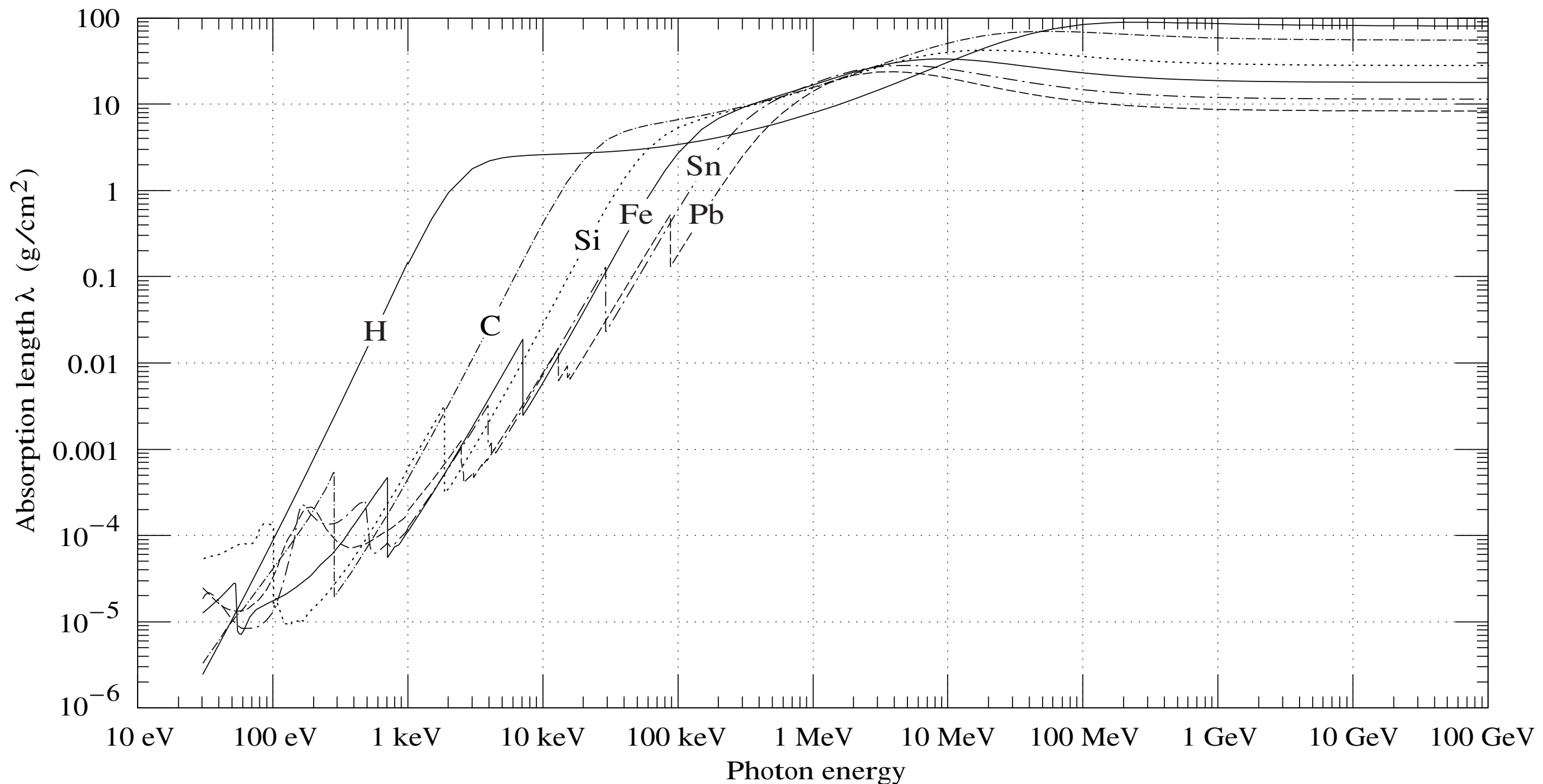


Fig. 27.16: The photon mass attenuation length (or mean free path) $\lambda = 1/(\mu/\rho)$ for various elemental absorbers as a function of photon energy. The mass attenuation coefficient is μ/ρ , where ρ is the density. The intensity I remaining after traversal of thickness t (in mass/unit area) is given by $I = I_0 \exp(-t/\lambda)$. The accuracy is a few percent. For a chemical compound or mixture, $1/\lambda_{\text{eff}} \approx \sum_{\text{elements}} w_Z/\lambda_Z$, where w_Z is the proportion by weight of the element with atomic number Z . The processes responsible for attenuation are given in Fig. 27.10. Since coherent processes are included, not all these processes result in energy deposition. The data for $30 \text{ eV} < E < 1 \text{ keV}$ are obtained from http://www-cxro.lbl.gov/optical_constants (courtesy of Eric M. Gullikson, LBNL). The data for $1 \text{ keV} < E < 100 \text{ GeV}$ are from <http://physics.nist.gov/PhysRefData>, through the courtesy of John H. Hubbell (NIST).

■ Pionierarbeiten und Beispiele

- Positron; Anderson 1933

- Blasenkammer, CERN

- Gasdetektoren

- Cherenkov-Detektor

- Szintillator

- Halbleiterdetektoren

- Kalorimeter

Langsame Datennahme, Photos
manuelle Auswertung, sehr aufwändig
→ Elektronische (automatische) Datennahme + Analyse
→ Geschwindigkeit β → Masse m
→ Energie Absorption (Szi) → Photonen → Photo-Elektronen (Kathode)
→ gute Ortsauflösung
→ gute Energieauflösung
→ Verstärkung (PMT)
→ Energieabsorption + Messung

■ Moderne Grossdetektoren

- CMS, Pierre Auger, AMS

⇒ Kombination vieler Detektoren zur Messung möglichst vieler Teilcheneigenschaften

■ Rutherford-Streuung

- Experiment

- Ableitung der Rutherford-Streuformel

- Größe von Atomkernen

⇒ nächste Woche

Entdeckung des Positrons: Anderson 1933

6 mm Blei
↓
↑

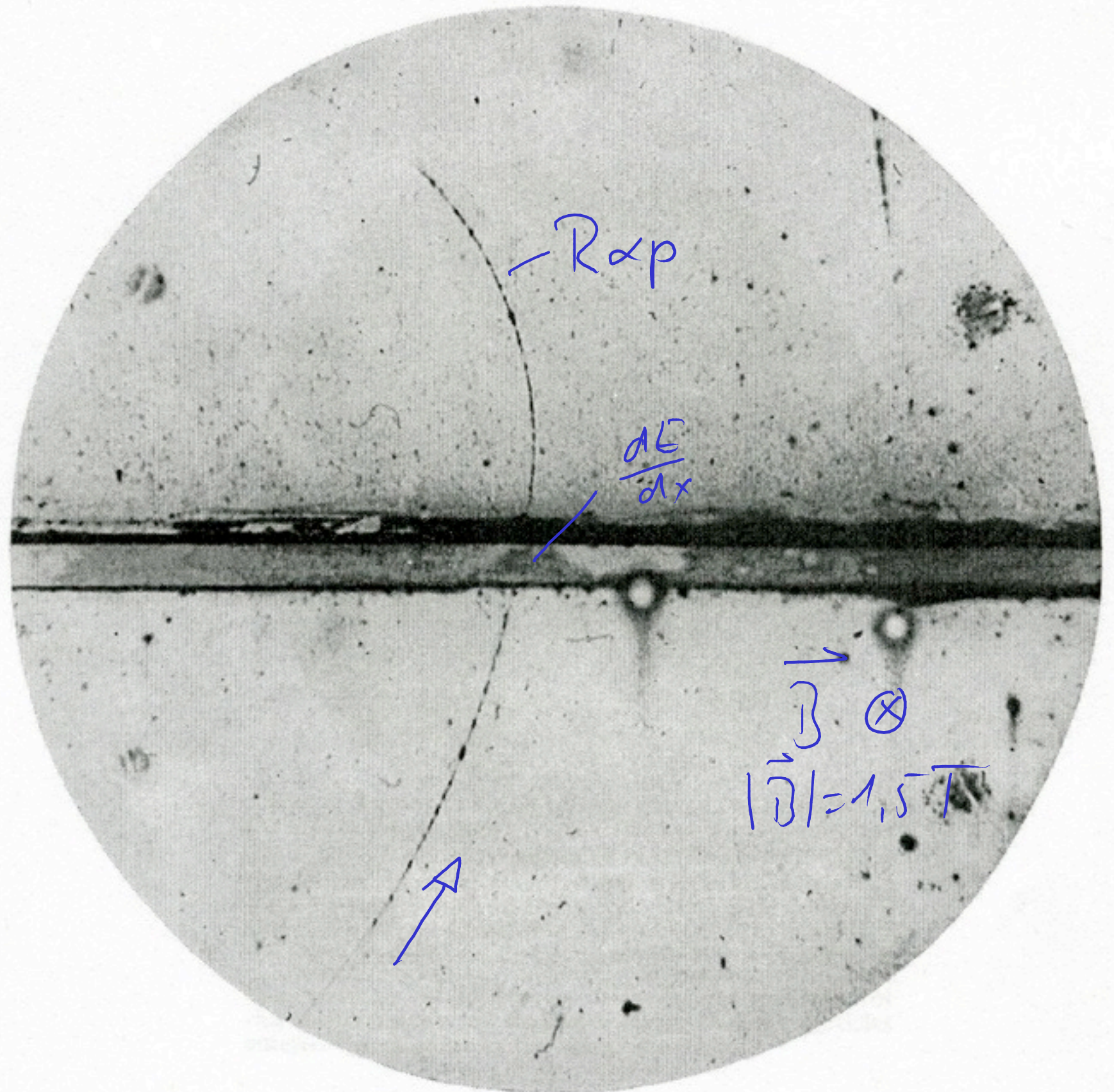
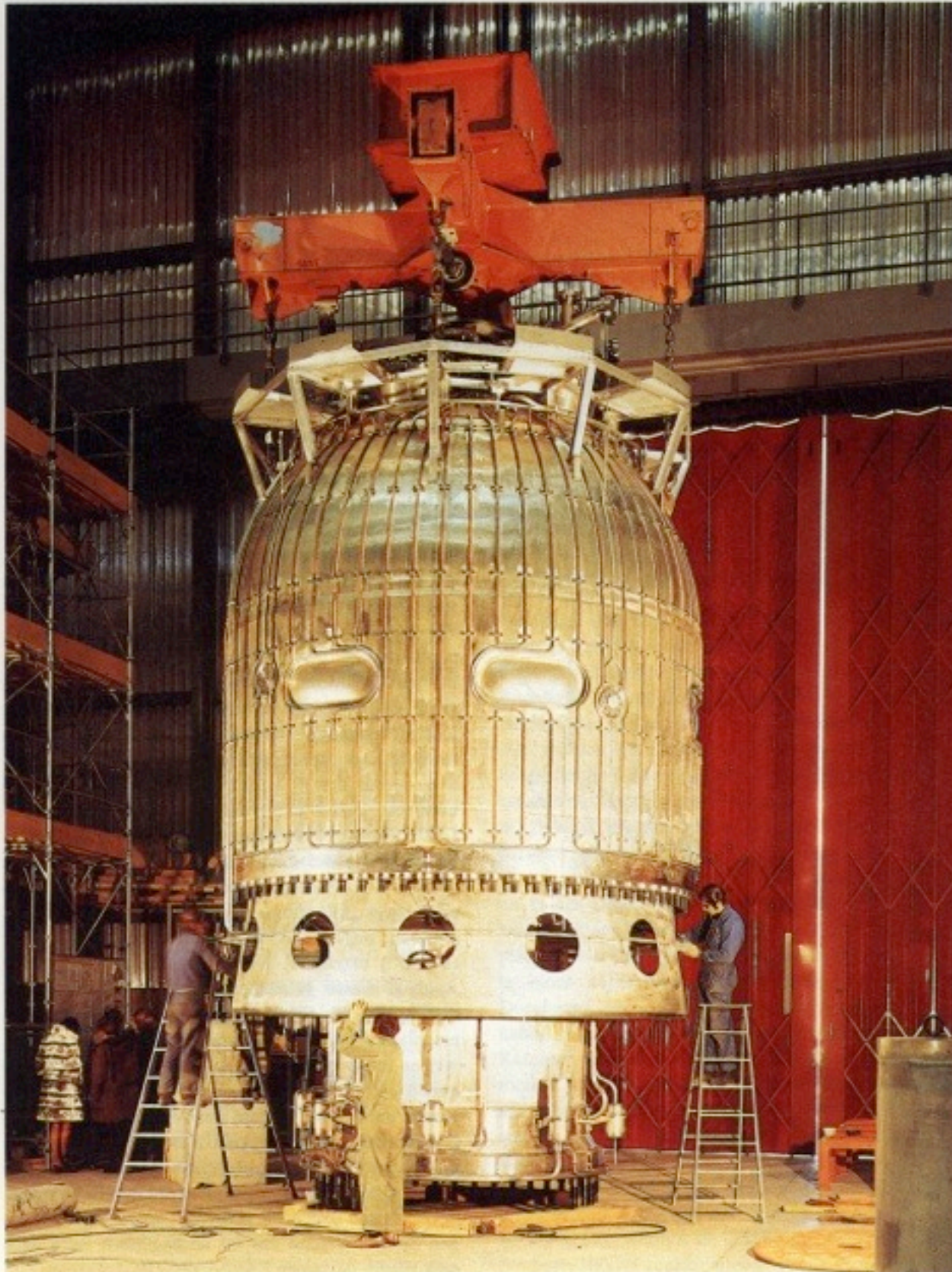


FIG. 1. A 63 million volt positron ($H\rho = 2.1 \times 10^5$ gauss-cm) passing through a 6 mm lead plate and emerging as a 23 million volt positron ($H\rho = 7.5 \times 10^4$ gauss-cm). The length of this latter path is at least ten times greater than the possible length of a proton path of this curvature.

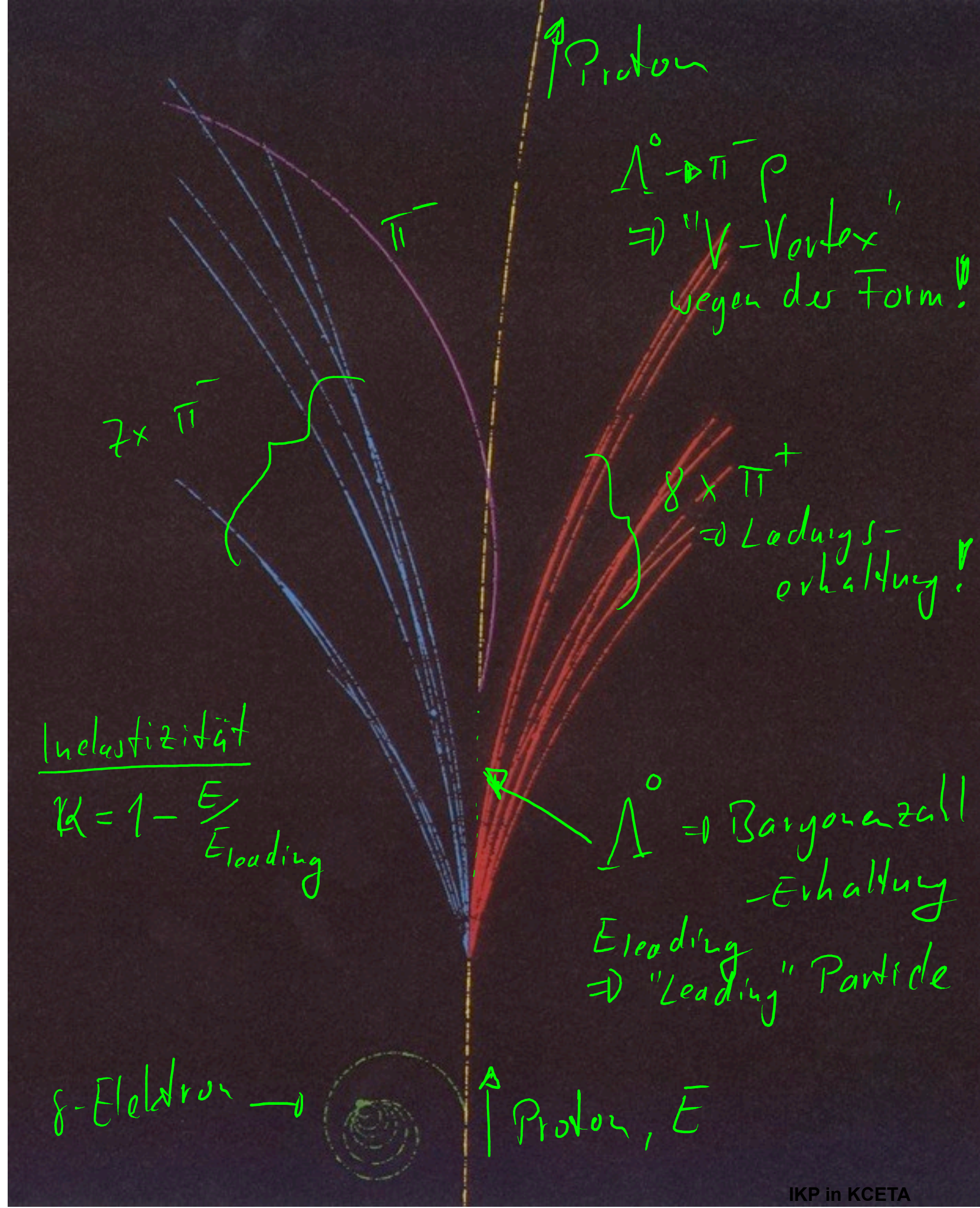
Blasenkammer



Blasenkammer

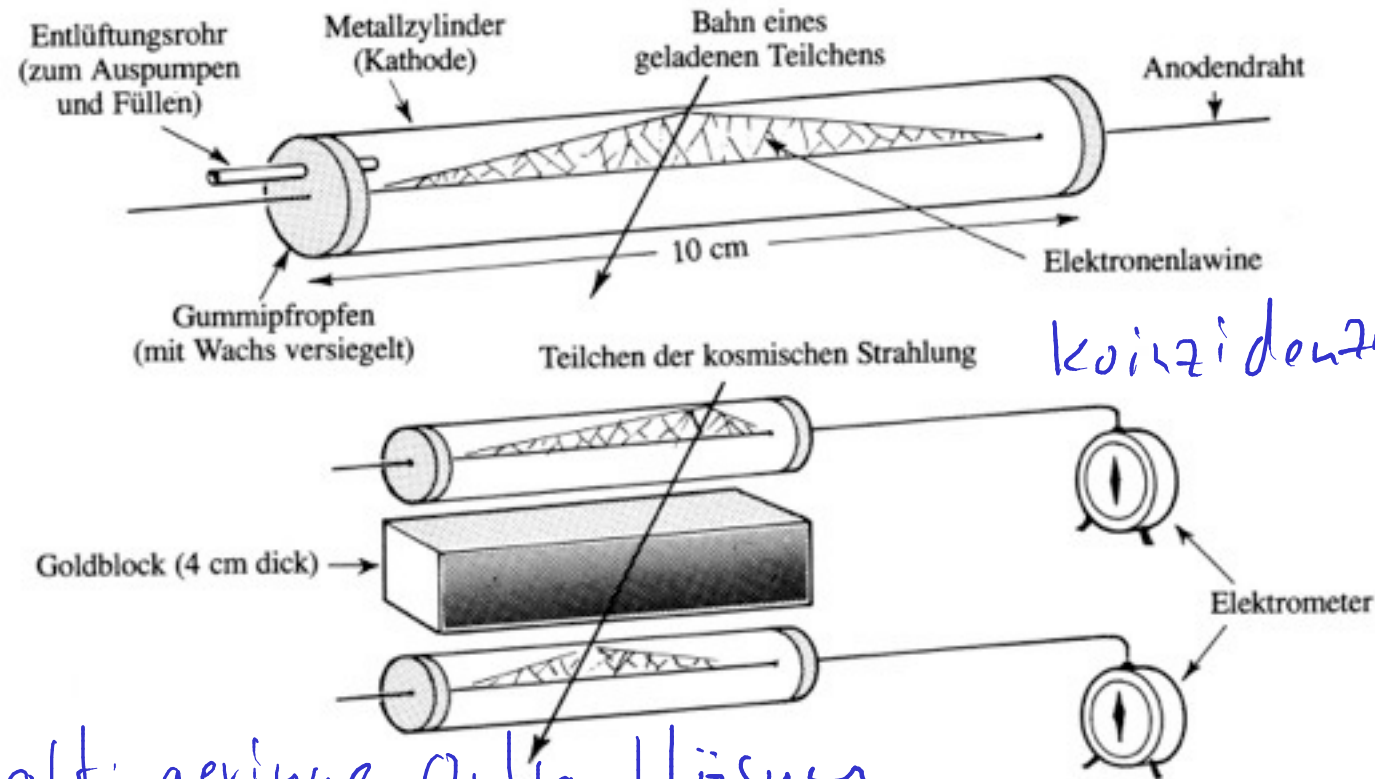
typische hadronische Wechselwirkung:

5.13 Ein hochenergetisches Proton (gelb), das von unten ins Bild kommt, kollidierte mit einem ruhenden Proton im flüssigen Wasserstoff der 200-Zentimeter-Blasenkammer am Brookhaven National Laboratory. Die kleine (grüne) Spirale stammt von einem Elektron; sie zeigt, daß negativ geladene Teilchen gegen den Uhrzeigersinn, also zum linken Bildrand, abgelenkt werden, positiv geladene Teilchen folglich nach rechts. Bei der Wechselwirkung entstanden sieben negativ geladene Pionen (blau), neun positiv geladene Teilchen (rot) – ein Proton, ein positives Kaon und sieben positive Pionen – sowie ein neutrales Lambda. Das Lambda flog zwischen dem blauen und dem roten Spurfächer zur Bildmitte und hinterließ selbst keine Spur; es verriet seine Anwesenheit erst, als es in ein Proton (gelb) und ein negativ geladenes Pion (lila) zerfiel. (Die Aufnahme zeigt nur die Spuren, auf die es hier ankommt; alle anderen wurden gelöscht.)

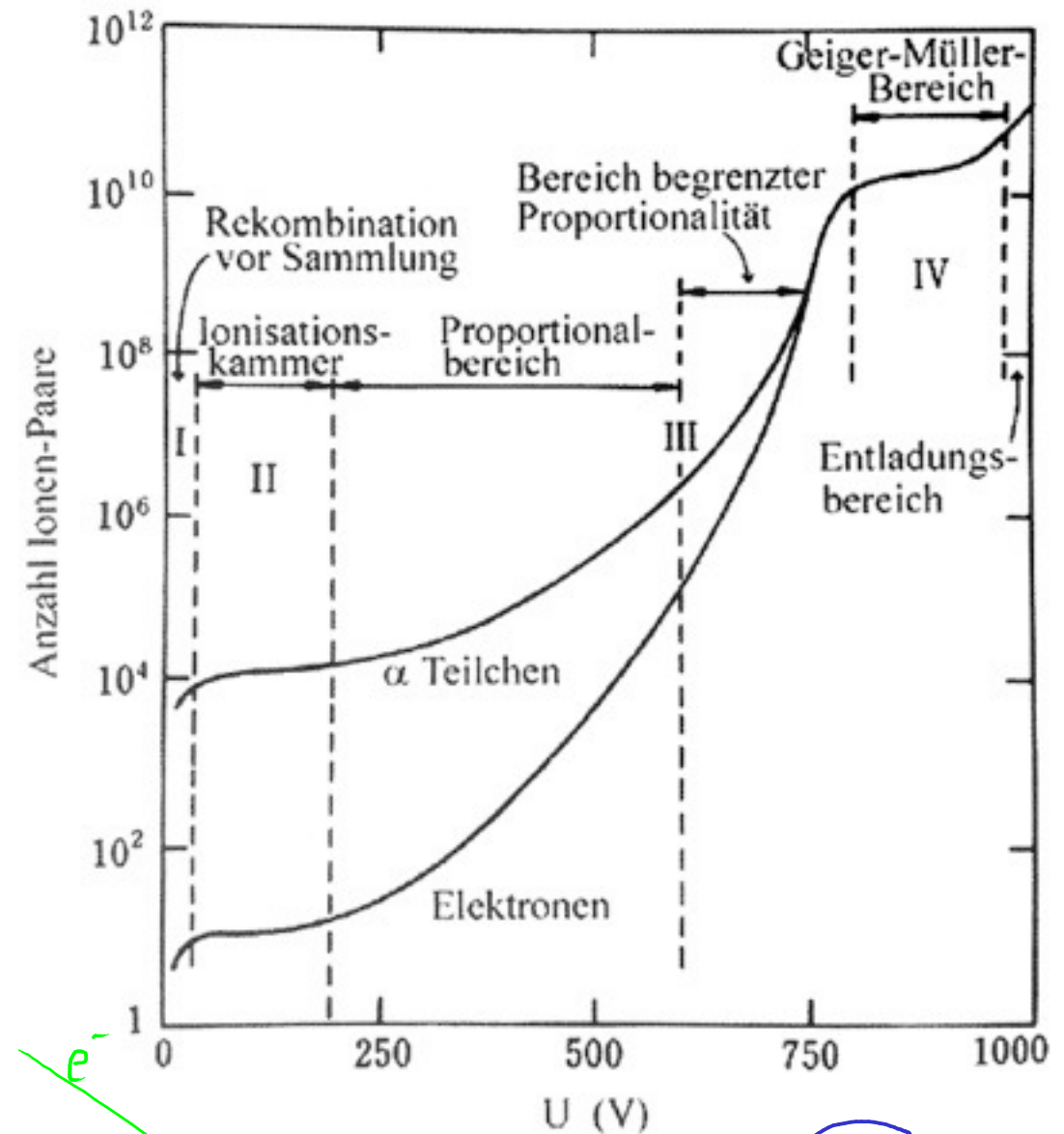


Gasdetektoren

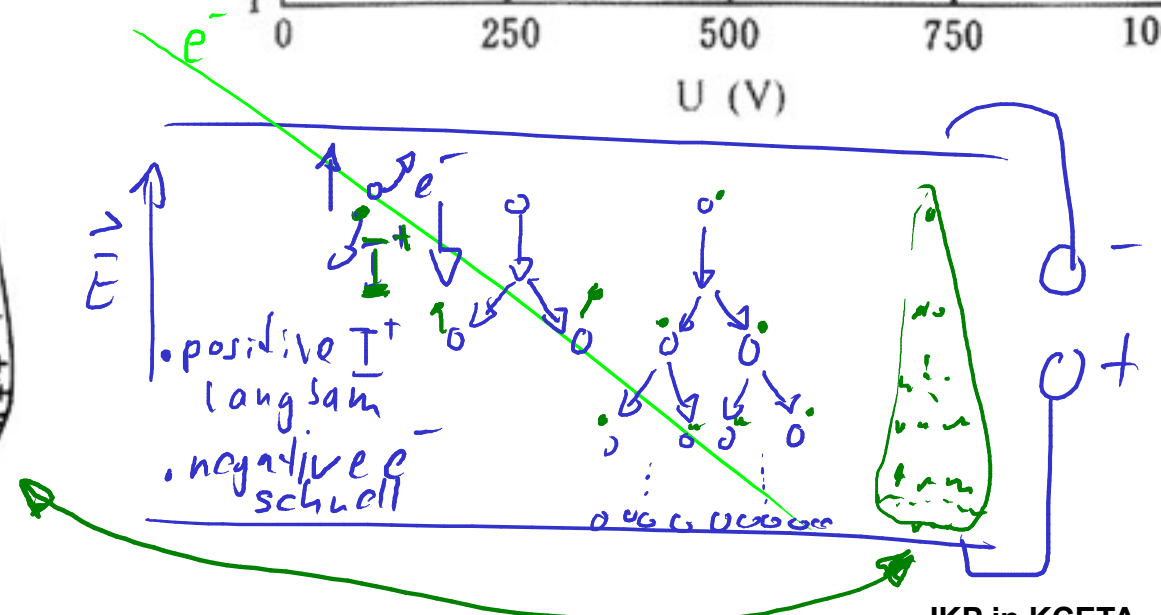
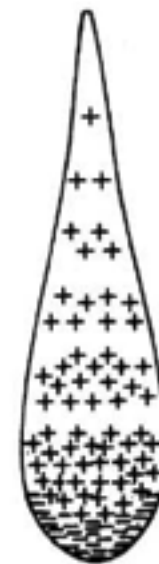
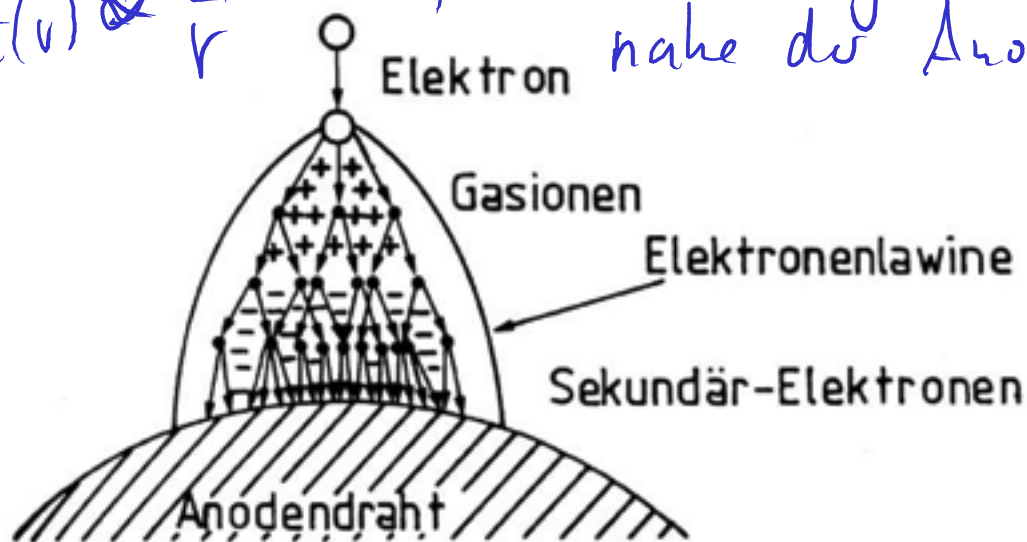
Gasverstärkung



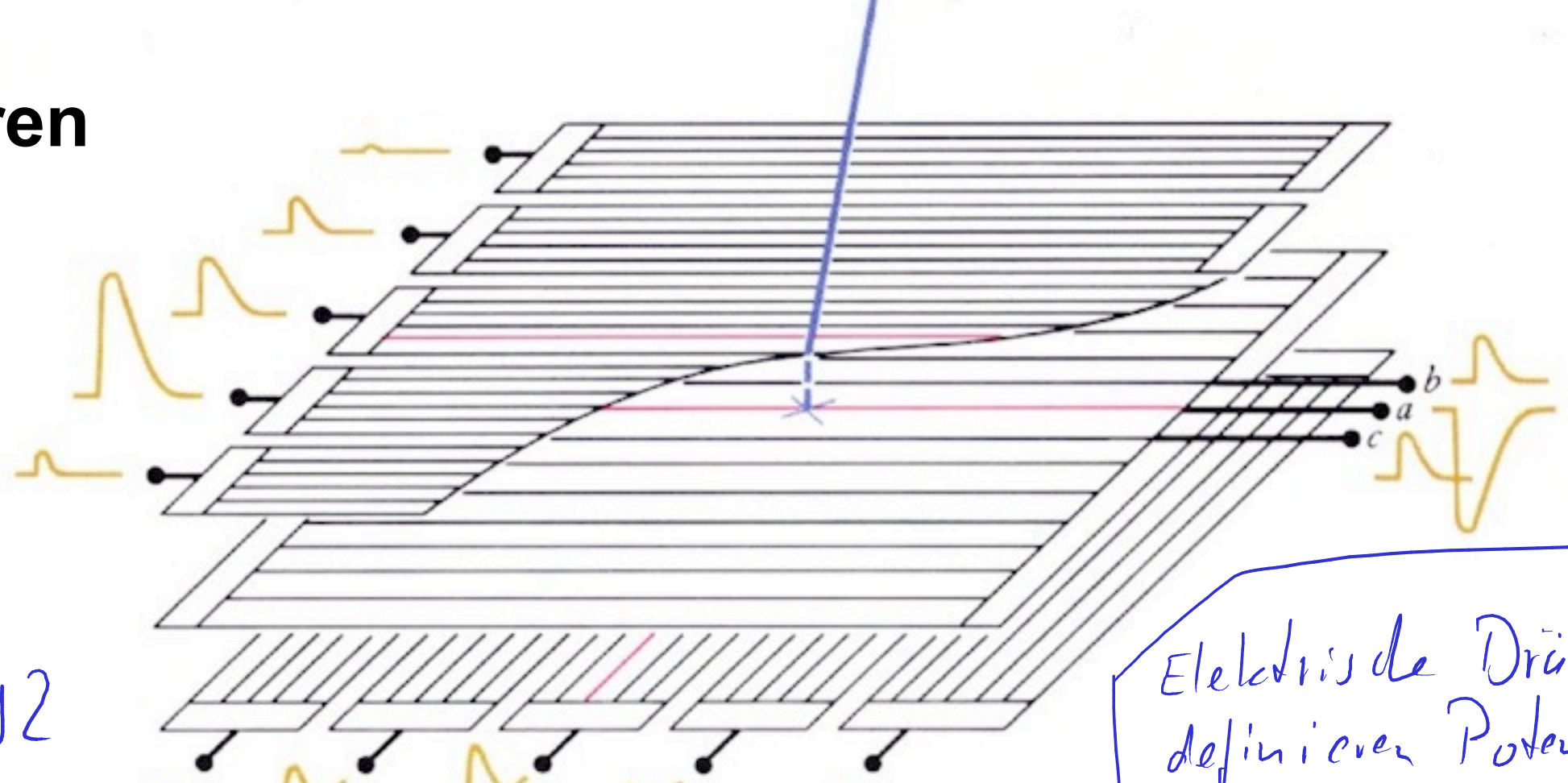
oft: geringe Ortsauflösung



$E(r) \propto \frac{1}{r} \Rightarrow$ Gasverstärkung nur sehr nahe der Anode



Gasdetektoren

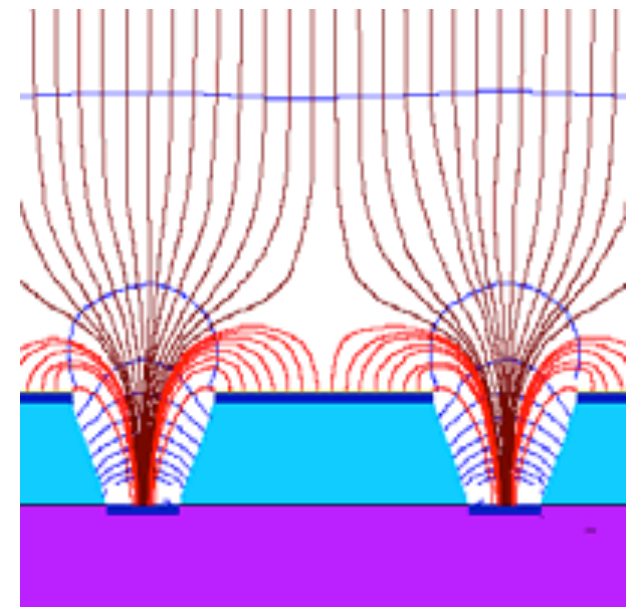
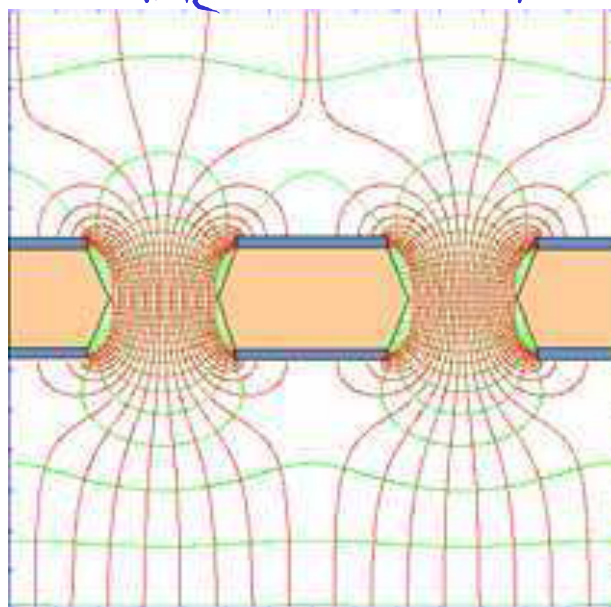
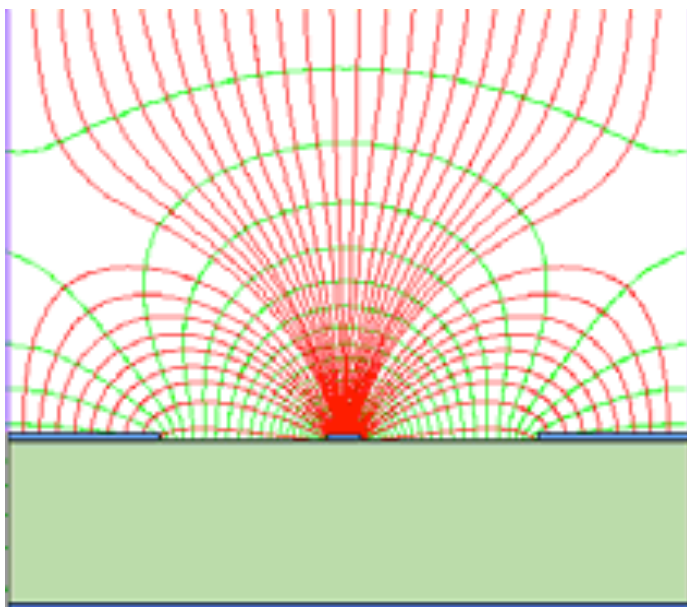


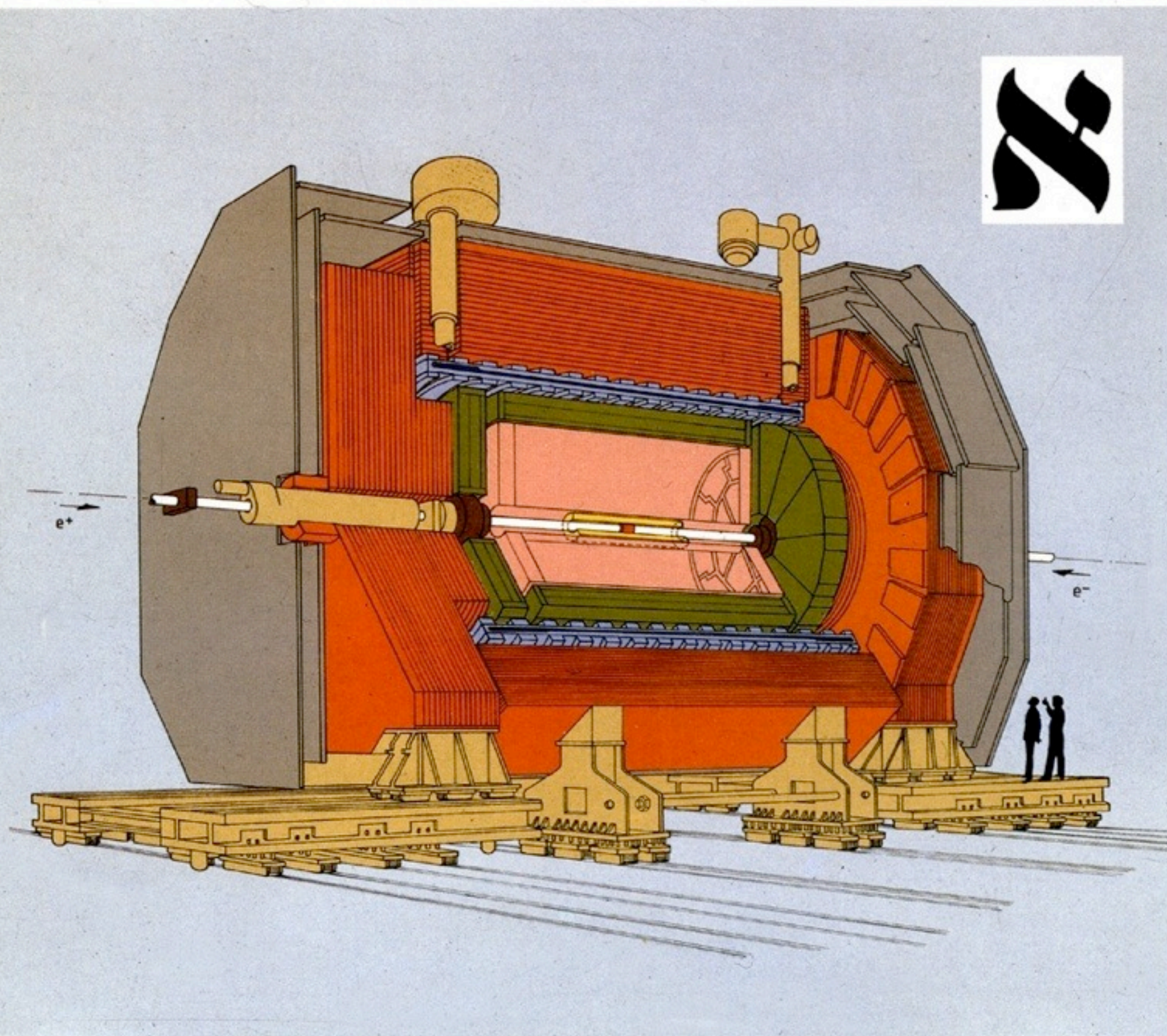
Nobelpreis
Charpak 1992

Vieldraht proportionalkammer (MWPC)

Ortsauflösung $G_x \sim \frac{d}{\sqrt{n}} = \mathcal{O}(100 \mu\text{m})$

Elektrische Drähte
definieren Potentiale
 $\Rightarrow$ Zellen

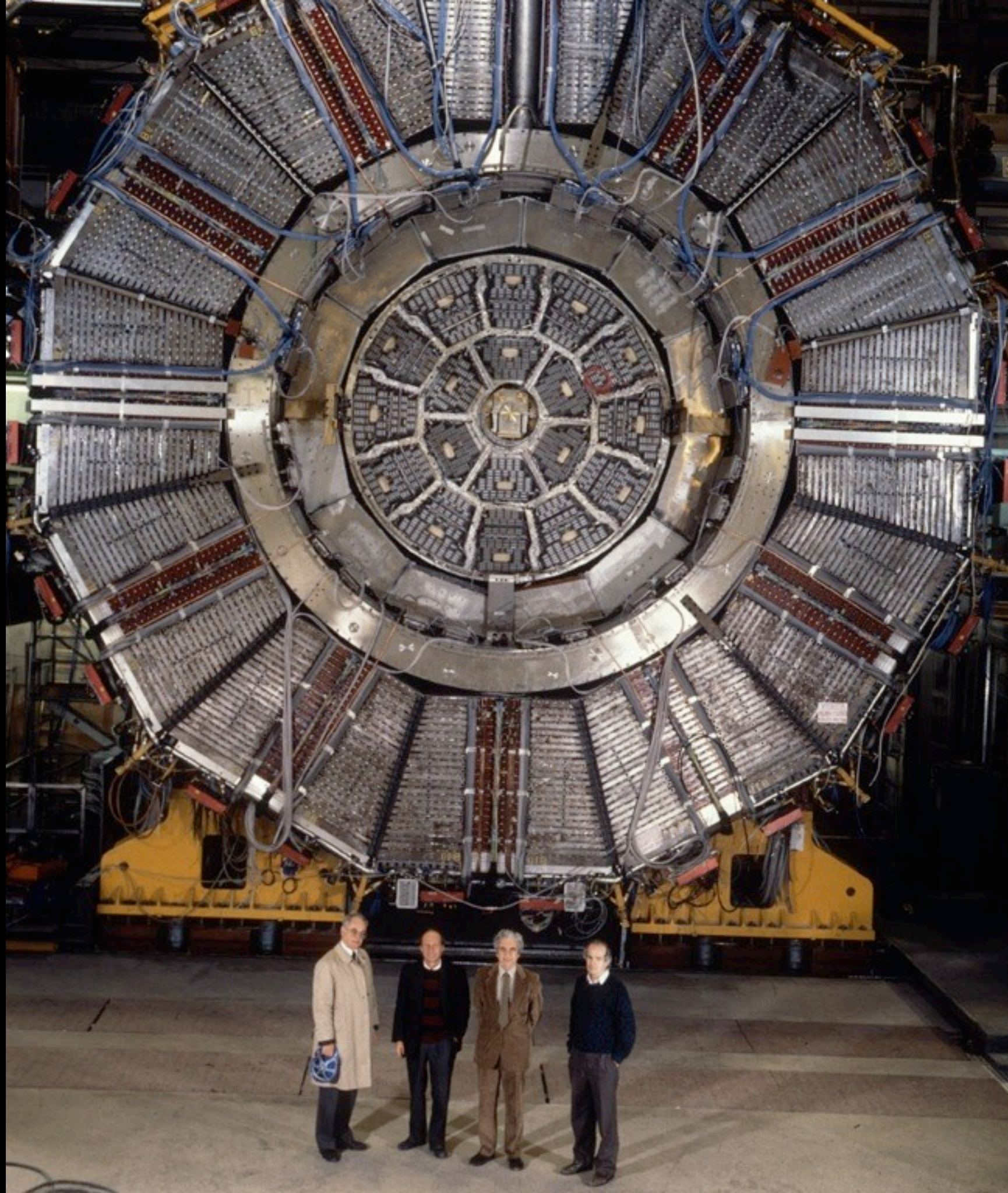




-  Vertex Detector
- Si-Tracking*
-  Inner Track Chamber
- Drift Chambers*
-  Time Projection Chamber
-  Electromagnetic Calorimeter
- $\approx 20 X_0$, Pb/Wire-chamber*
-  Superconducting Magnet Coil
- $B = 1.5 T$*
-  Hadron Calorimeter
- $= 7 \lambda_{int}$
Eisen + Streamer Tubes*
-  Muon Detection Chambers
- Limited Streamer Tubes*
-  Luminosity Monitors

Fig. 1 - The ALEPH Detector

gross...

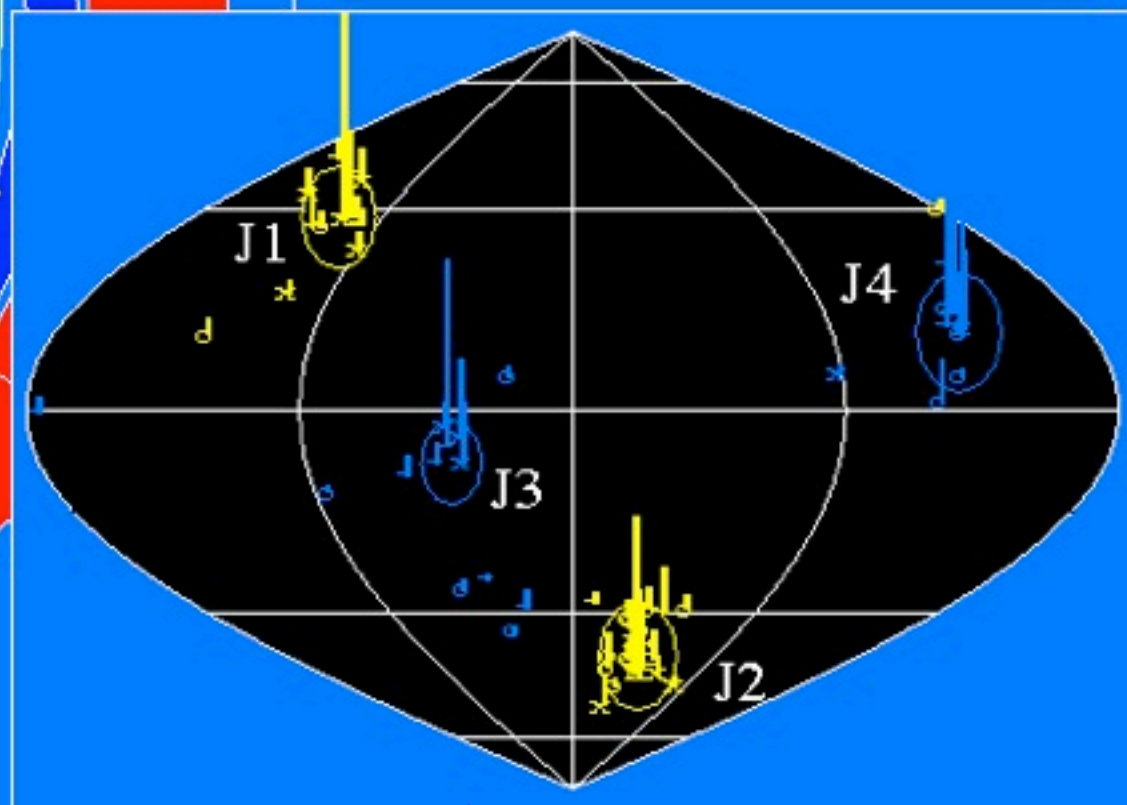
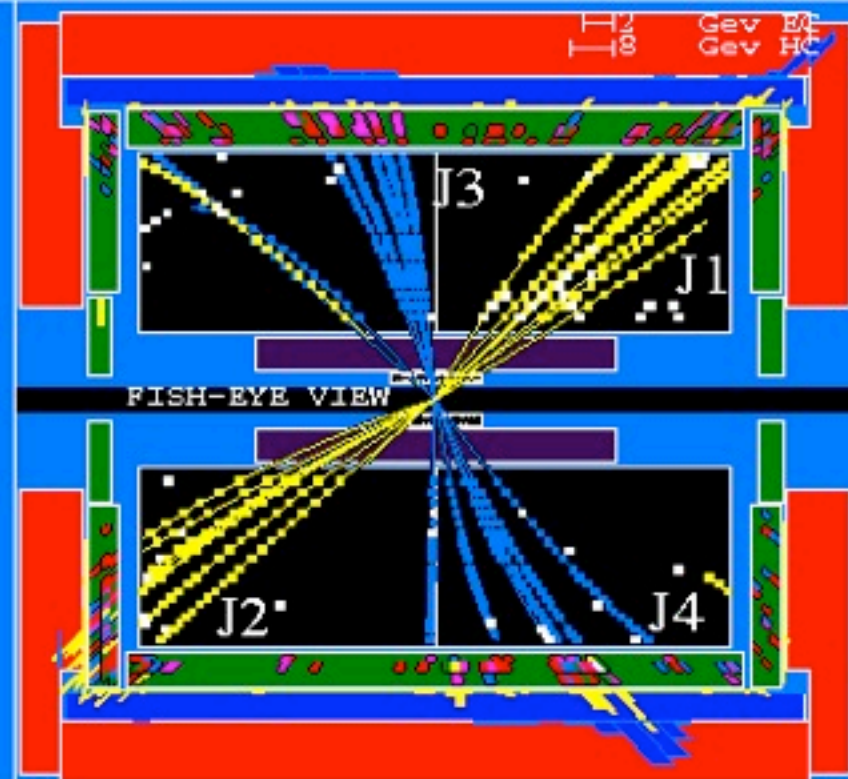
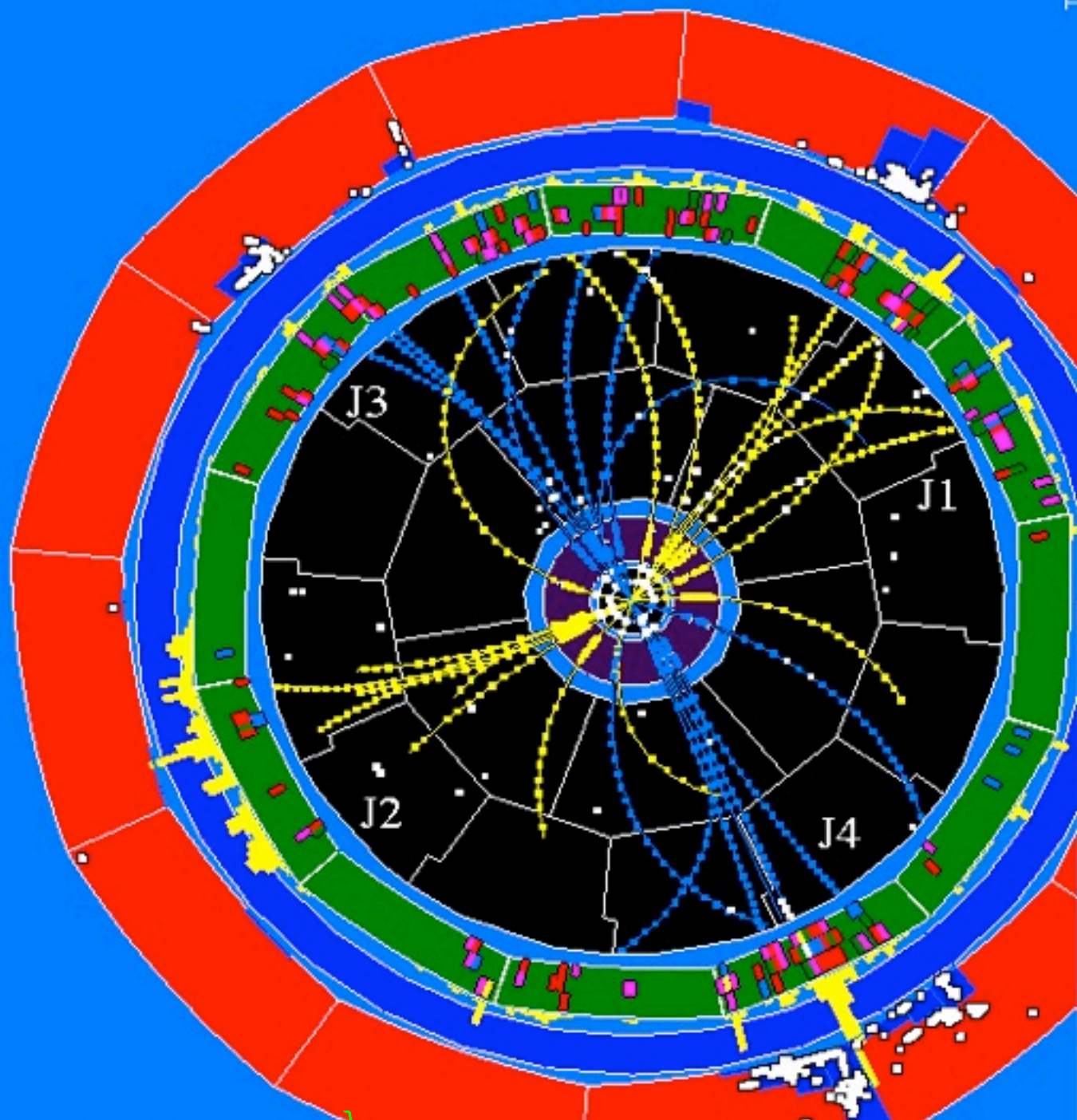


aber:
CMS
+
ATLAS

⇒ viel
größer!

12 GeV BC
 18 GeV HC

12 GeV BC
 18 GeV HC

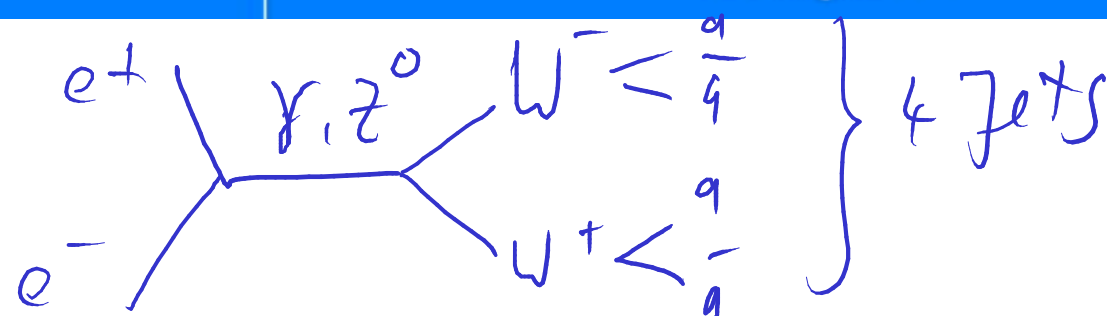


$J1 + J2 = 82.0 \text{ GeV}/c^2$

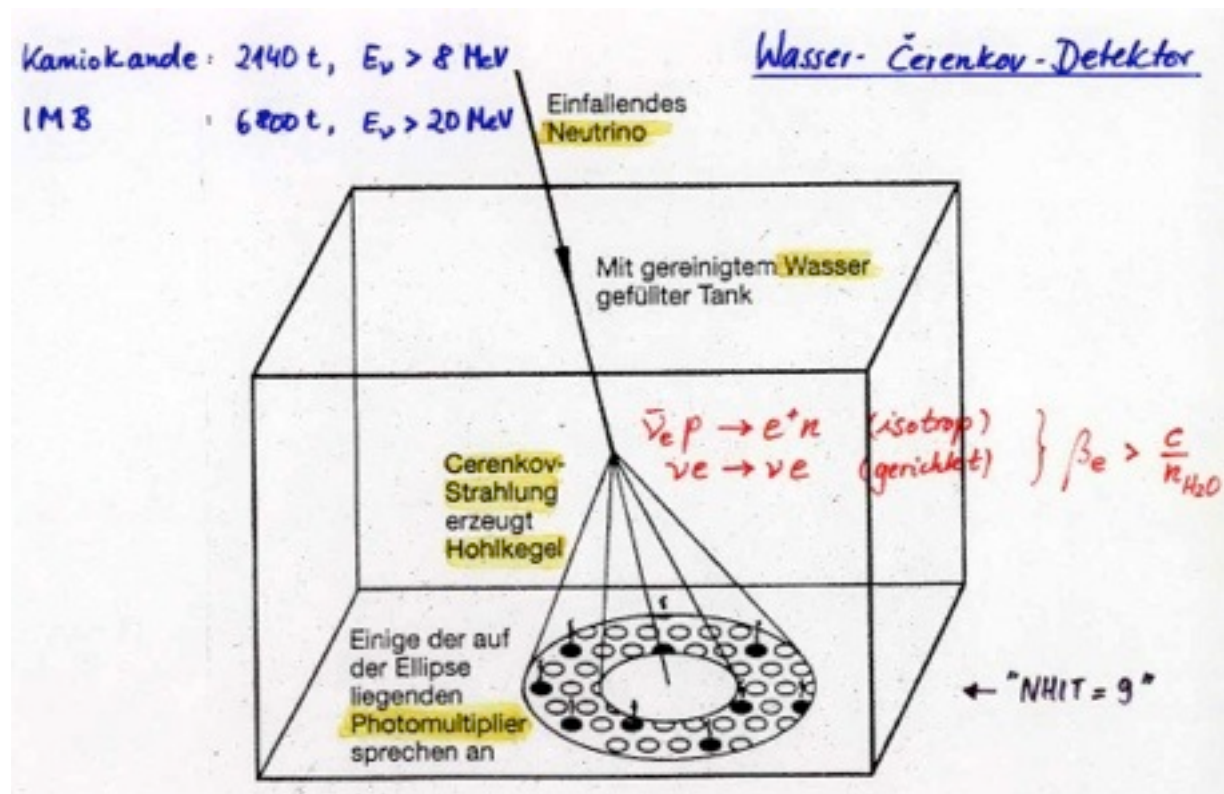
$J3 + J4 = 75.8 \text{ GeV}/c^2$

$2x \approx m_W = 80 \text{ GeV}/c^2$

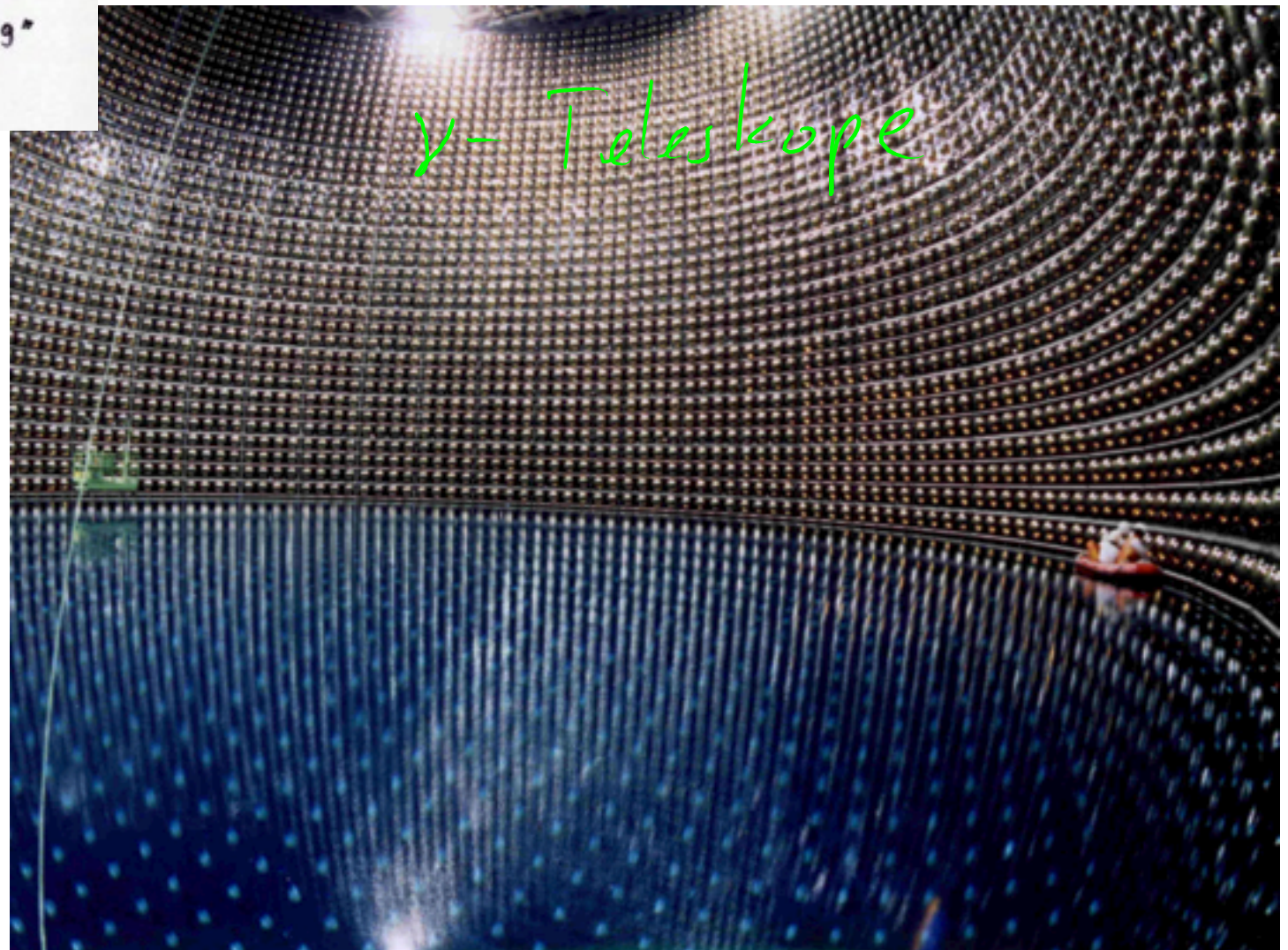
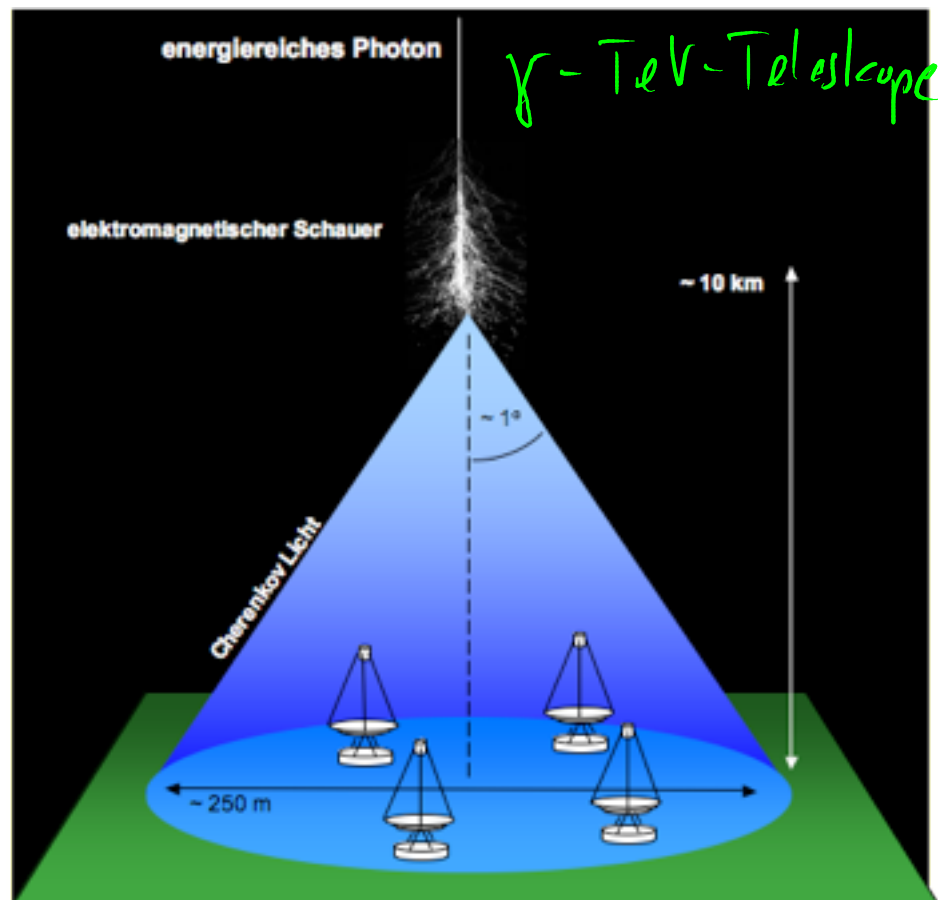
typisches LEP Ereignis:



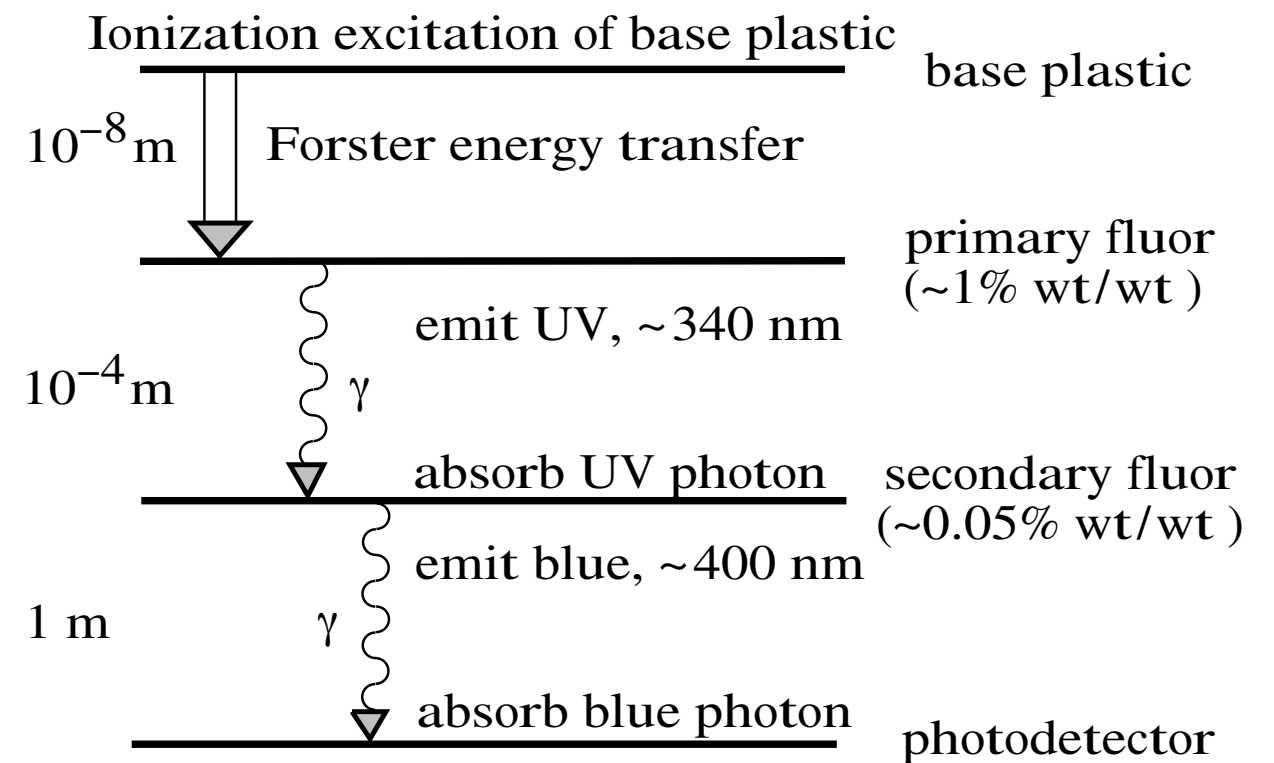
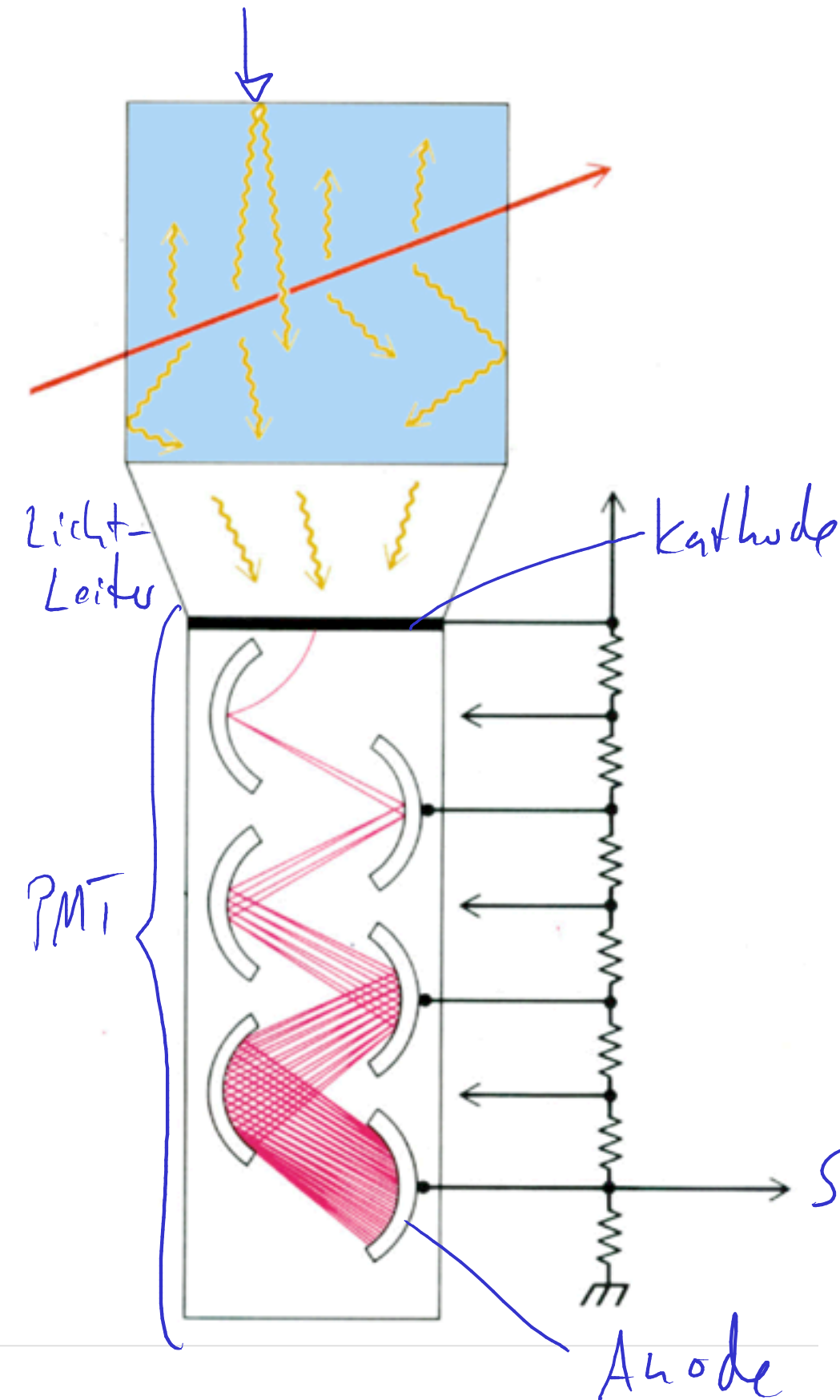
Cherenkov-Detektor



Geometrie / Winkel
→ Geschwindigkeit
→ Masse / Energie
→ Richtung



Szintillator; Photomultiplier (PMT)



Signal, Verstärkung $\approx 10^5$

Szintillator

Wellenlängenschieber
↓ Fasern

Totalreflektiv
zum
Photon-
Transport



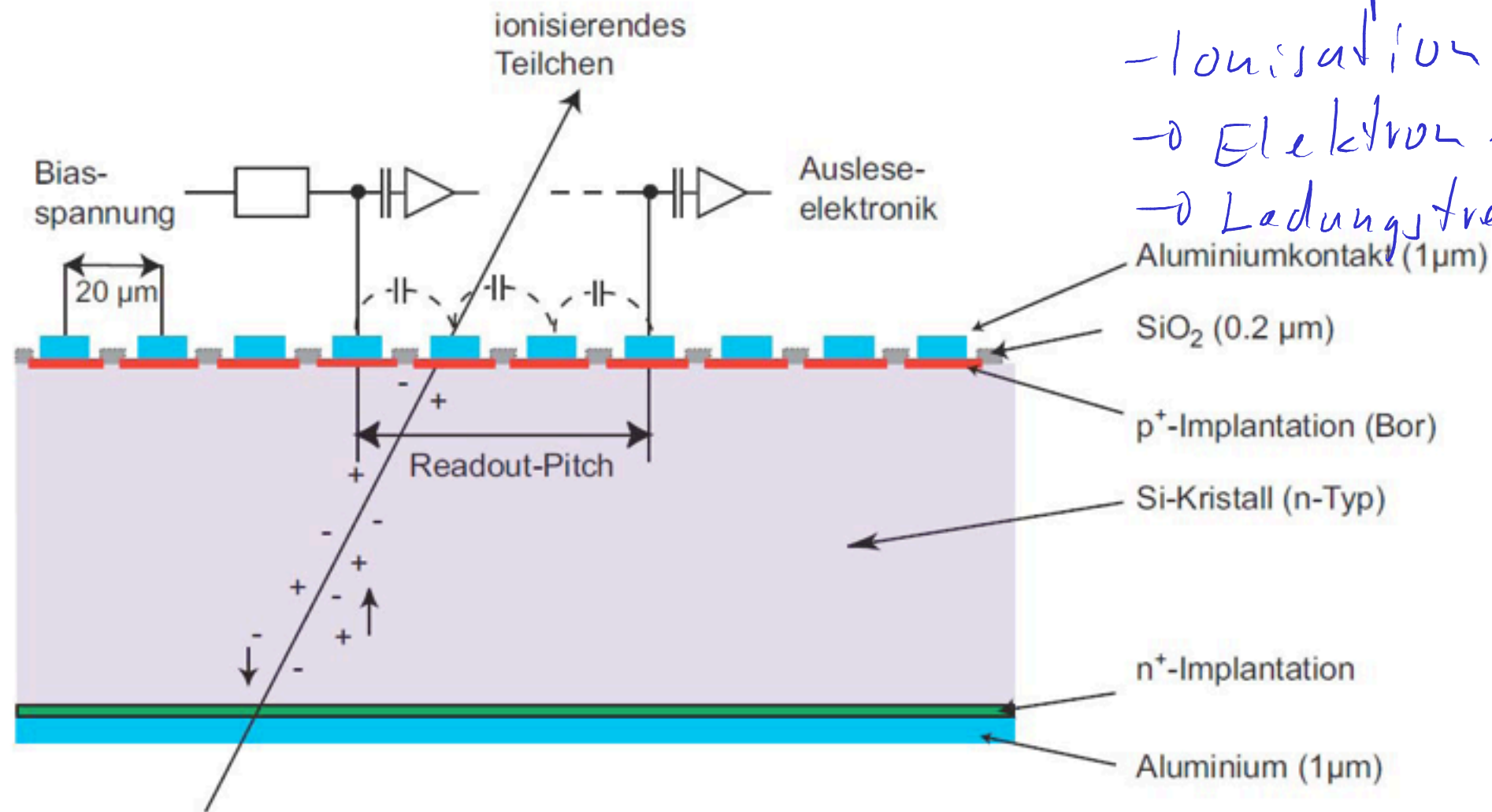
Halbleiterdetektoren

⇒ "Festkörper - Gasdetektoren"

- Ionisation

→ Elektron-Loch Paare

→ Ladungstrennung durch $\vec{E}$ -Feld



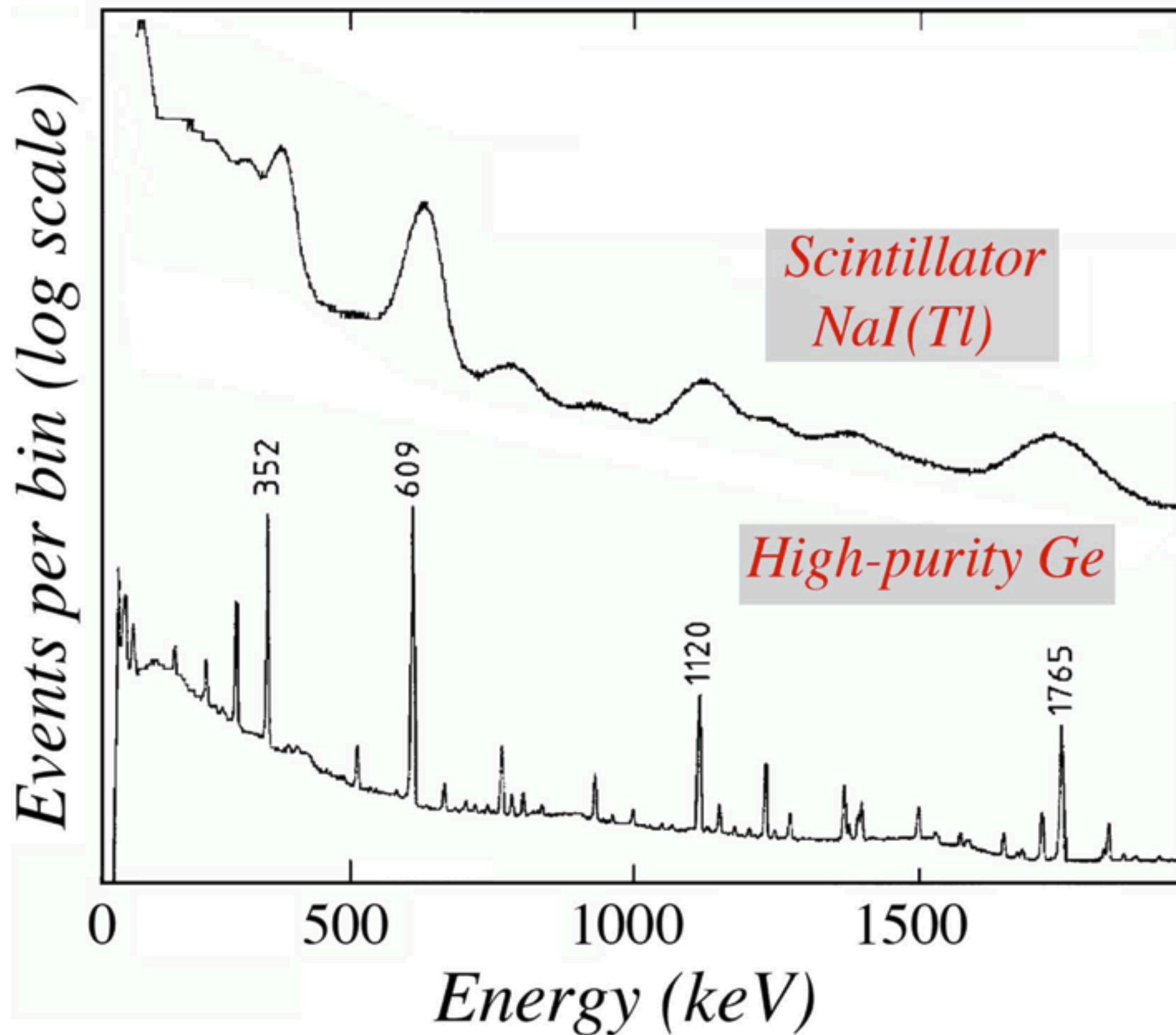
Vorteile: $I_{eff} = \mathcal{O}(1 \text{ eV})$

in Gasen sonst $I_{eff} = \mathcal{O}(10^{-3} \text{ eV})$

⇒ viel bessere Energieauflösung

⇒ gute Ortsauflösung durch kleine Strukturen

Energieauflösung



Kalorimeter

inaktives Material

- Schauerentwicklung
- Energieübertrag auf viele niederenergetische Teilchen

e^+/e^- etc.

aktives Material

- Beobachtung der Schauerentwicklung
- Integrales Signal S
 $\Rightarrow S \propto E_0$

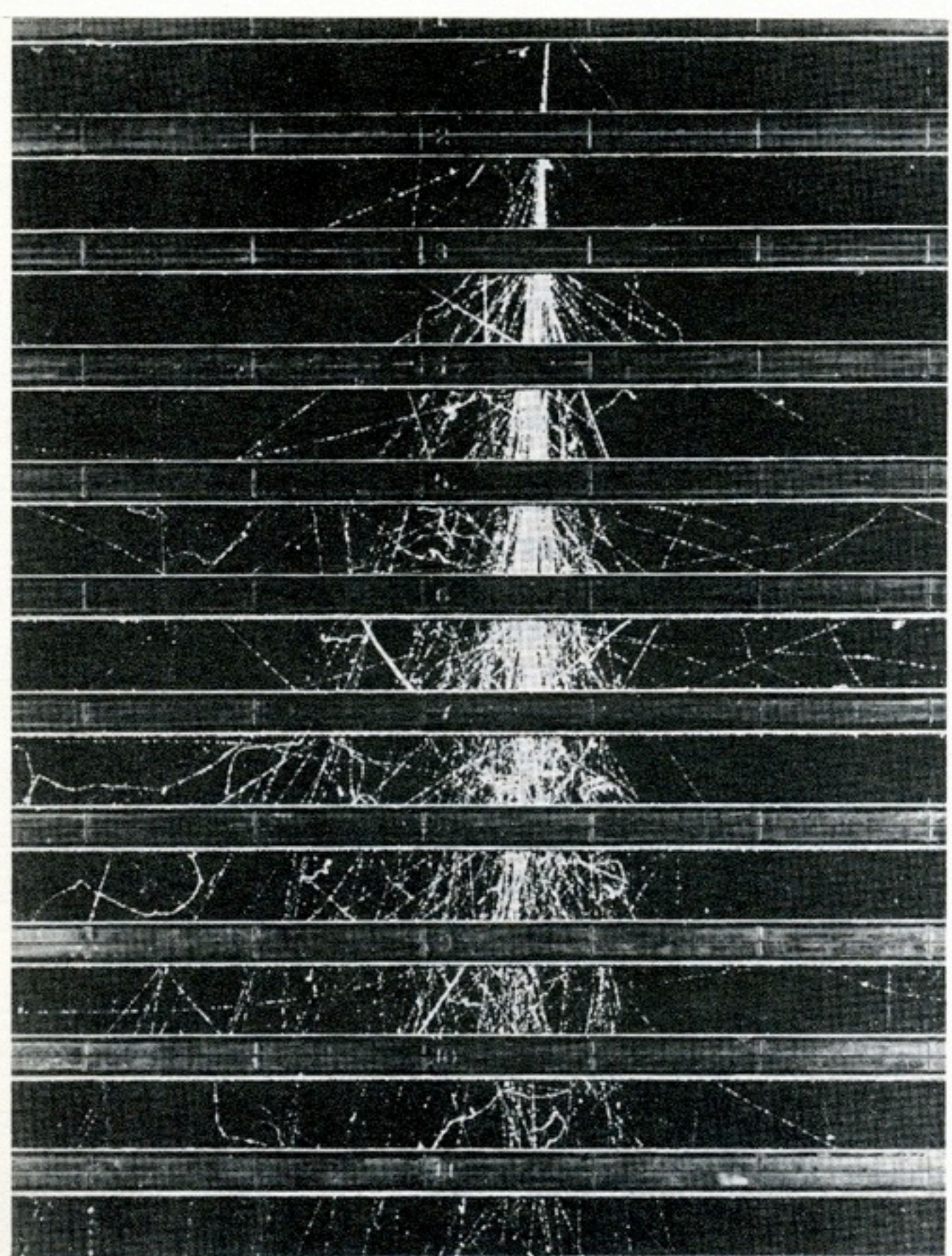


Fig. 7-5 A shower developing through a number of brass plates 1.25 cm thick placed across a cloud chamber. The shower was initiated in the top plate by an incident high-energy electron or photon. The photograph was taken by the MIT cosmic-ray group.

Grundsätzlich zwei Typen von Kolorimetern:

Elektromagnetisch :

- Hohe Raumladung
- kleine Strahlungslänge λ_0
z.B. $\lambda_0(\text{Pb}) \sim 6\text{mm}$
- kompakte Bauweise möglich

Hadronisch :

- hadronische Absorptionslänge
z.B. $\lambda_{\text{int}}(\text{Pb}) \approx 17\text{cm}$

$\Rightarrow$ kompakte Bauform nicht möglich
 $\Rightarrow$ sehr massive Detektoren

Auflösung:

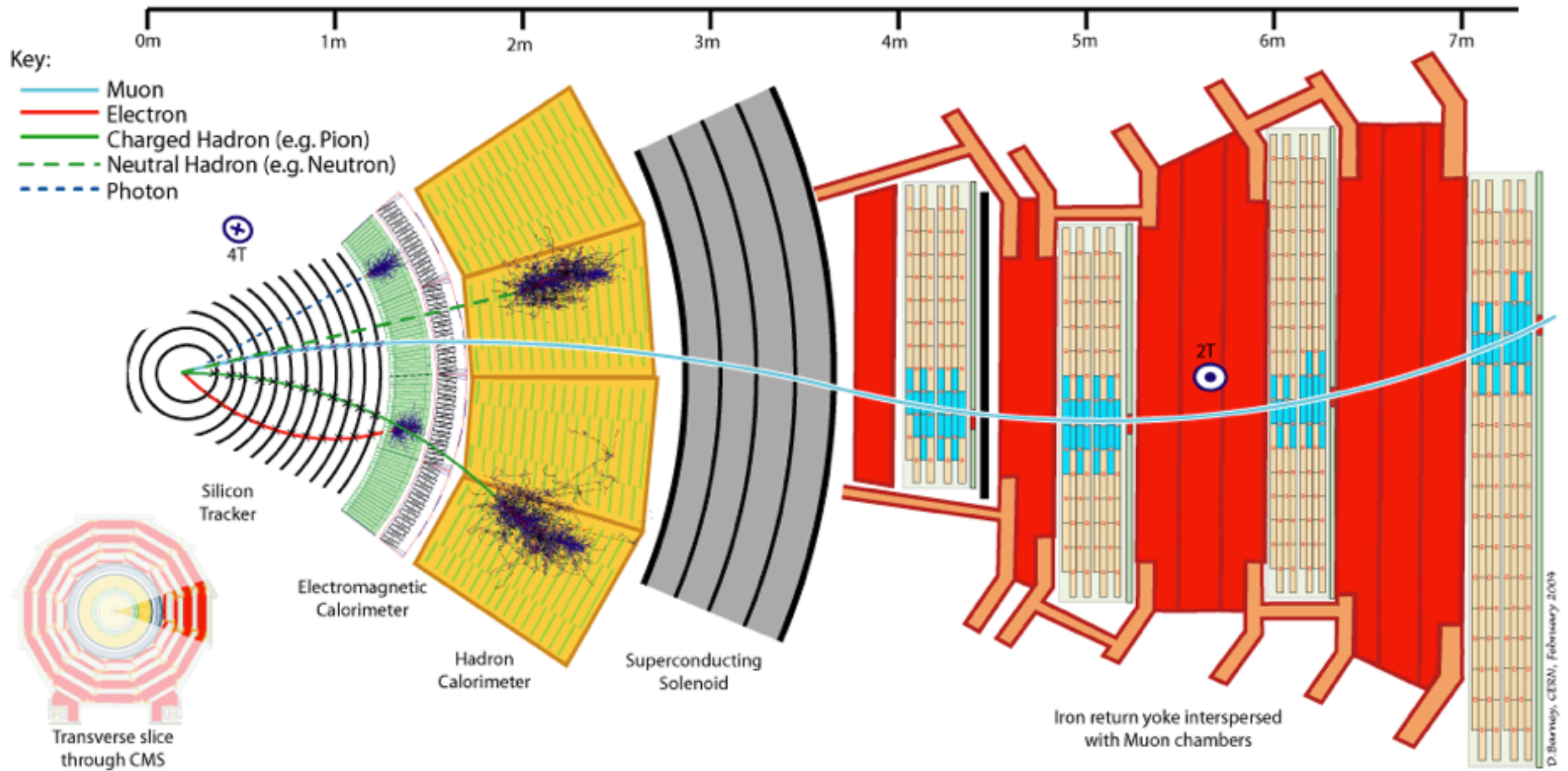
$$\frac{\Delta E}{E} = a + \frac{b}{\sqrt{E}}$$

gut erst
bei hohen
Energien

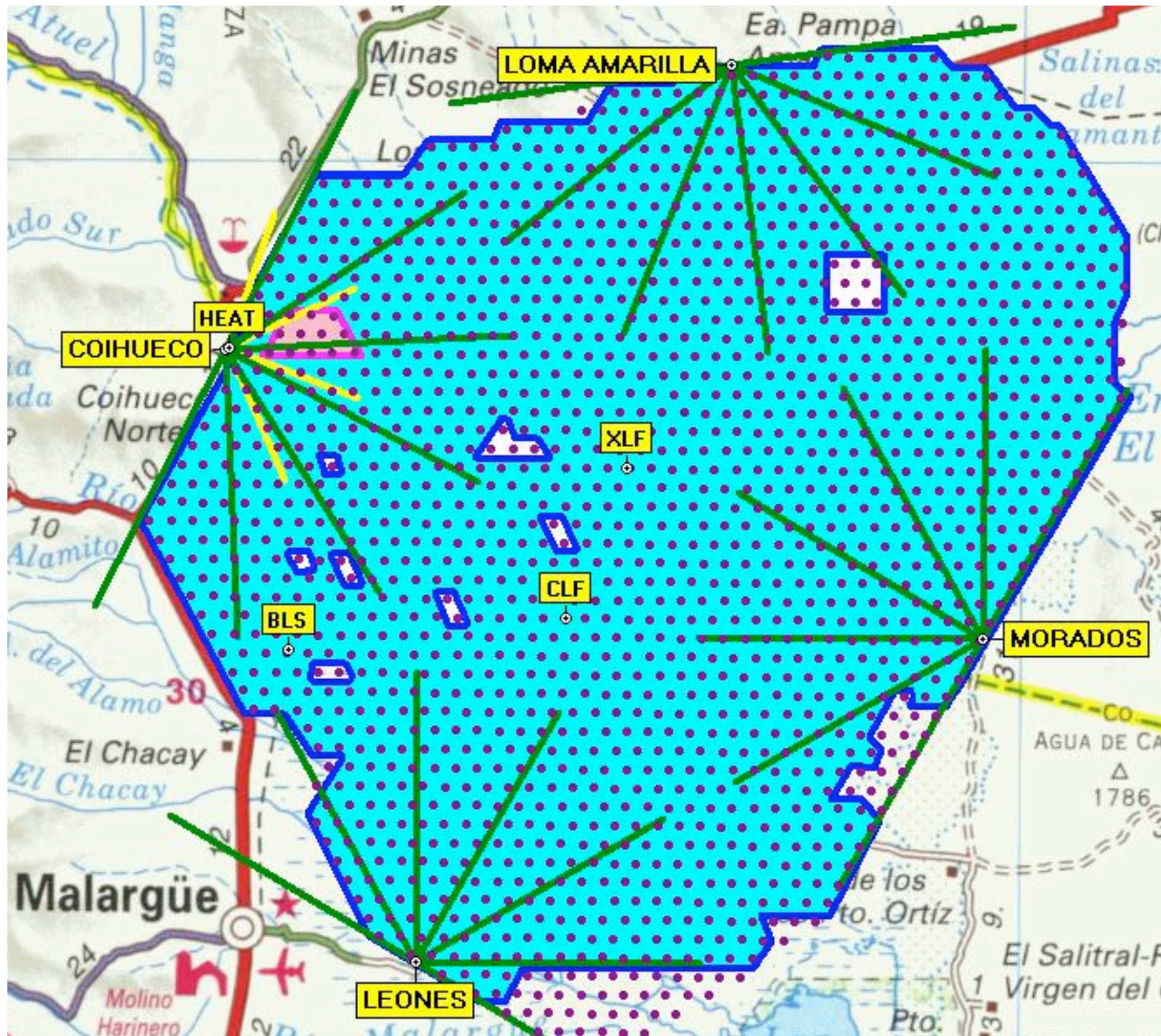
Ansoren

- Kalibration wichtig + teilweise schwierig
- Nicht-Linearitäten
- Nicht-kompensierend ($\gamma, \mu, n, \dots$)

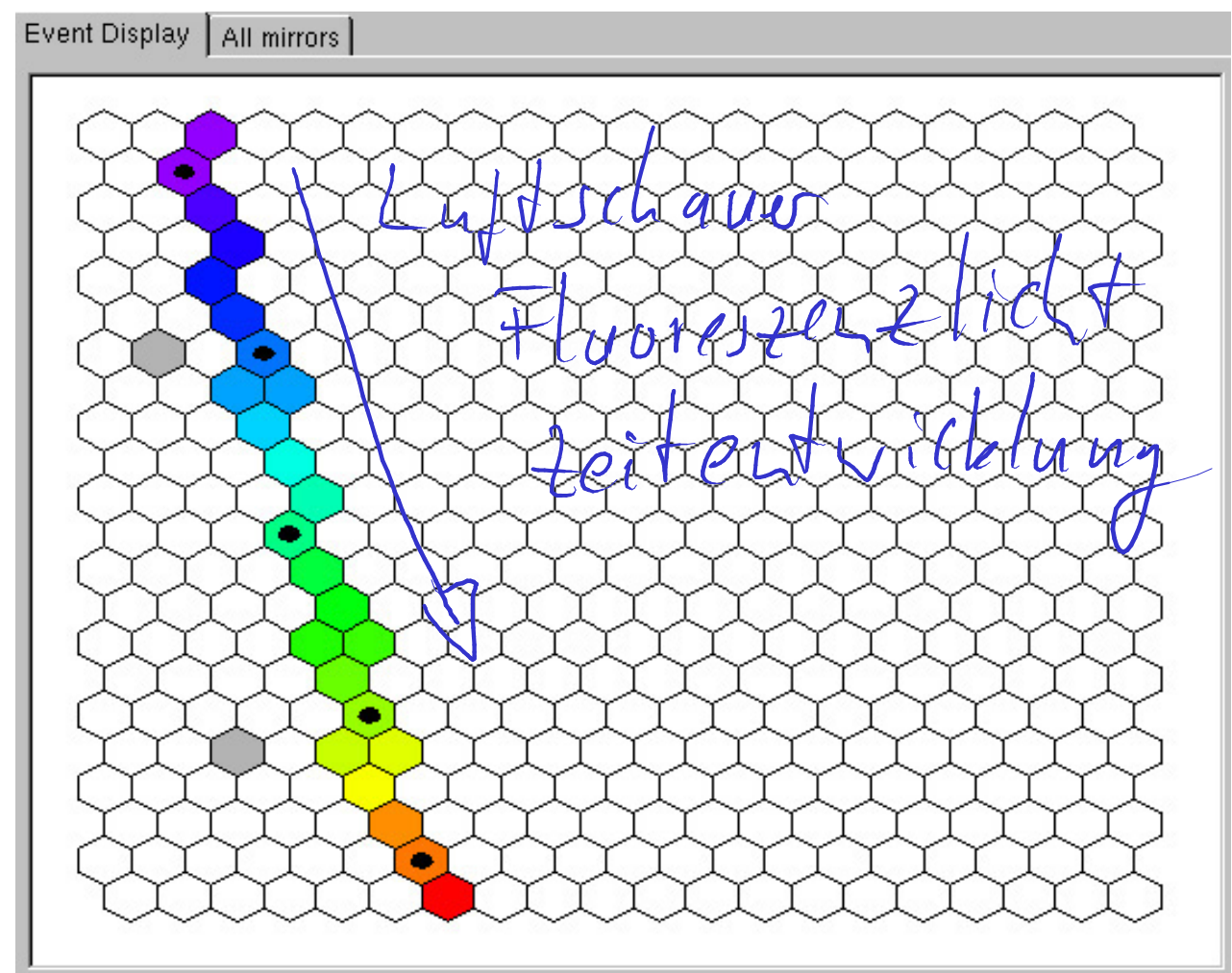
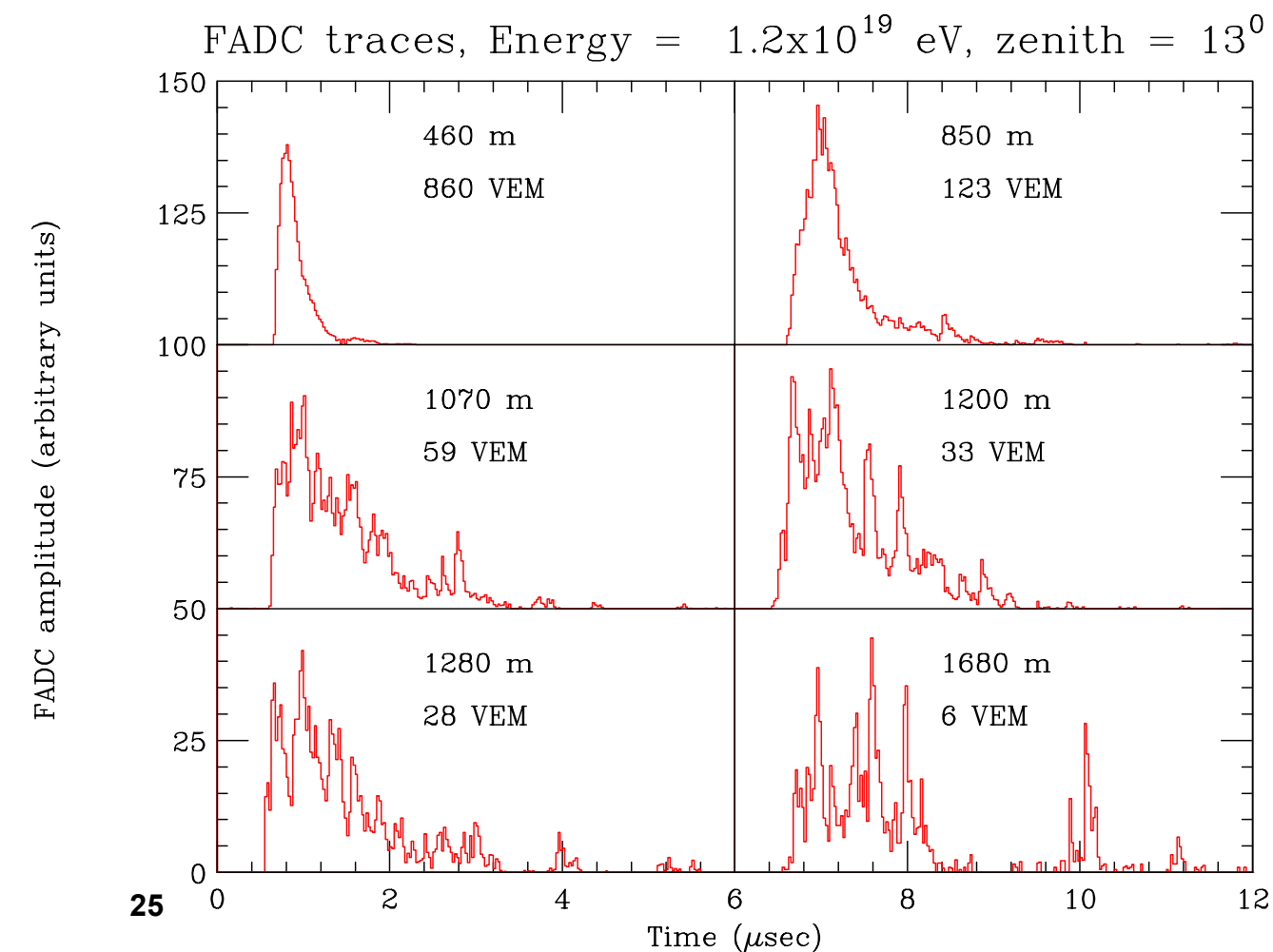
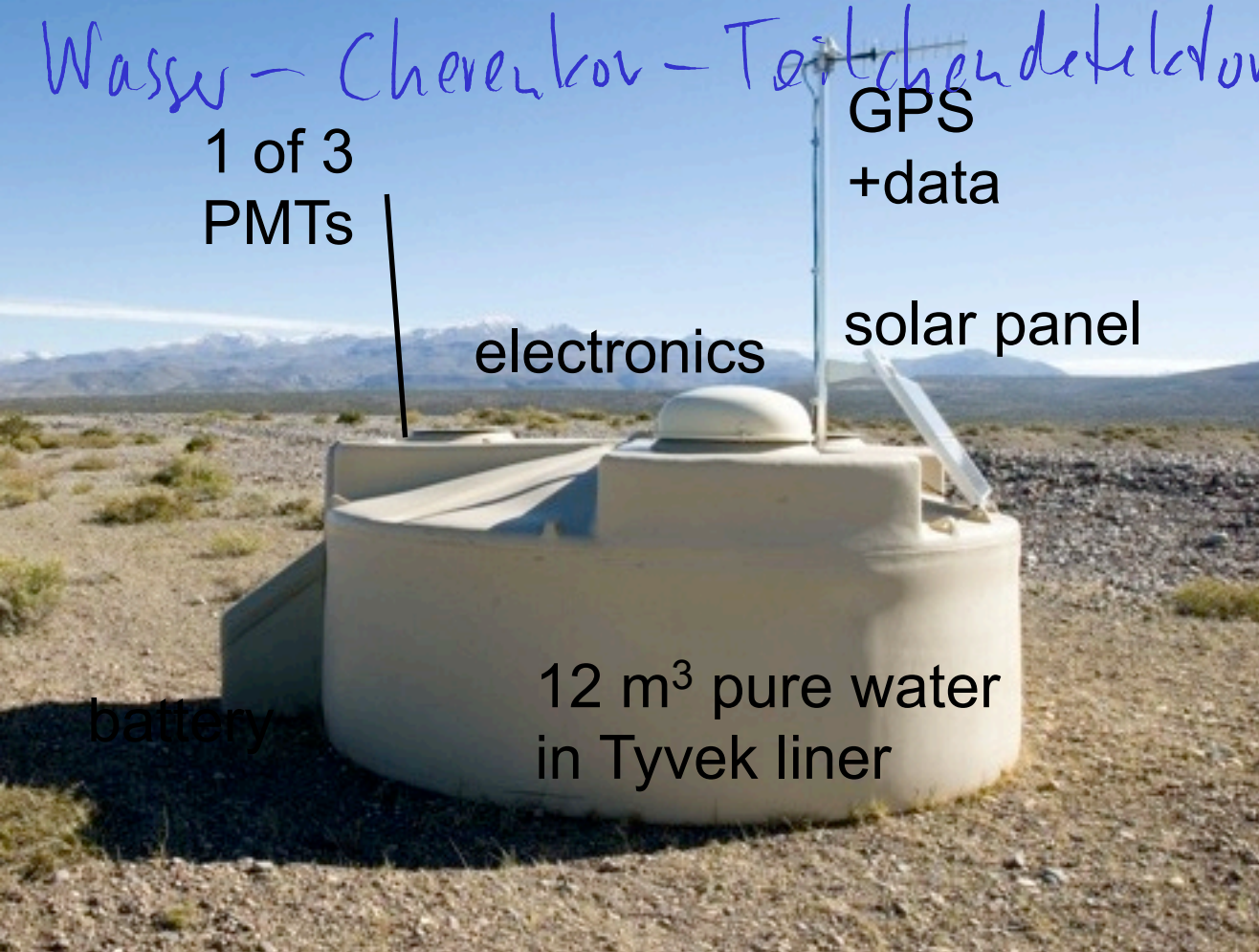
Compact Muon Solenoid CMS am LHC



Pierre Auger-Observatorium



Wasser - Cherenkov - Teilchendetektor



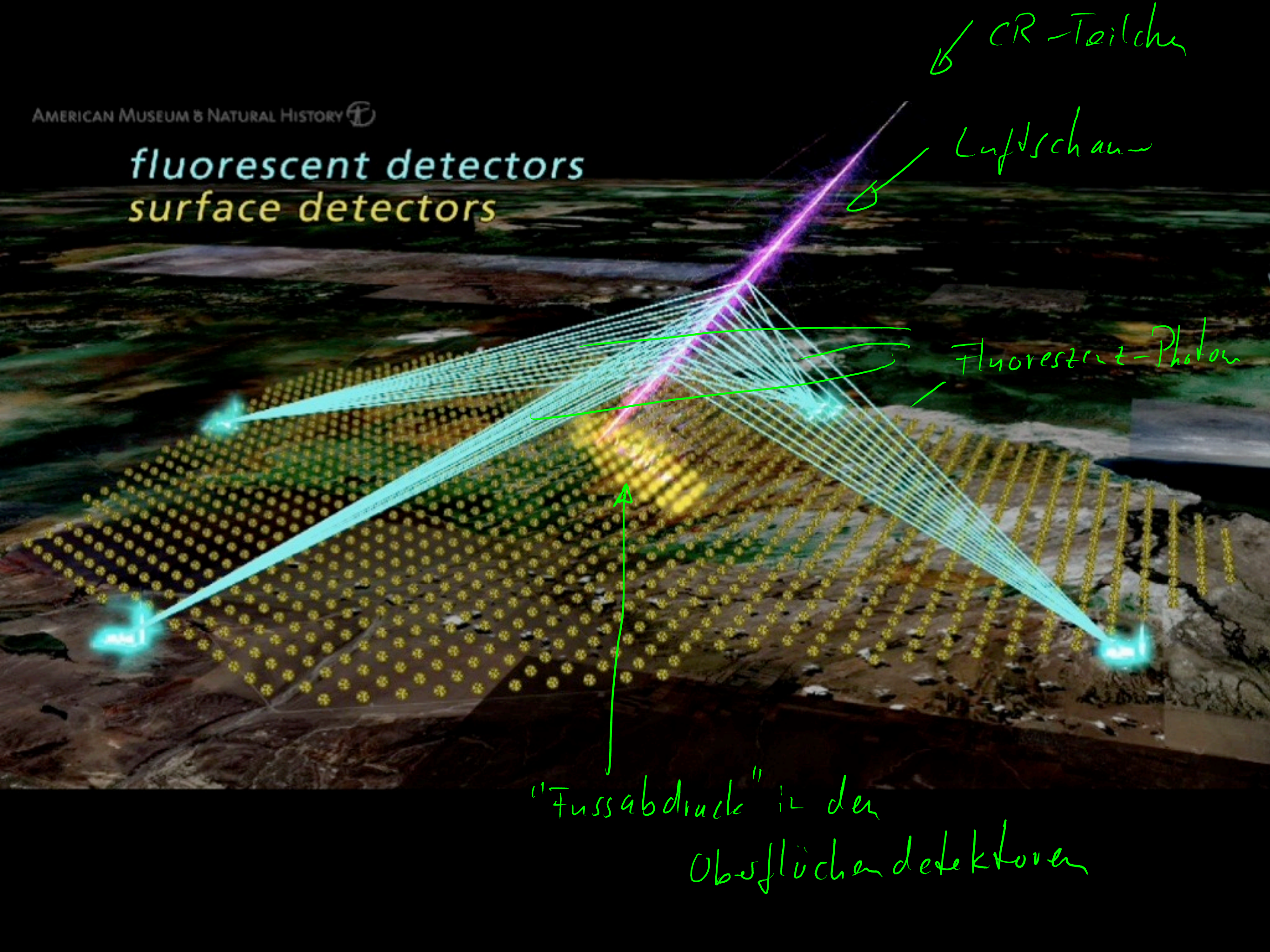
fluorescent detectors surface detectors

CR-Teilchen

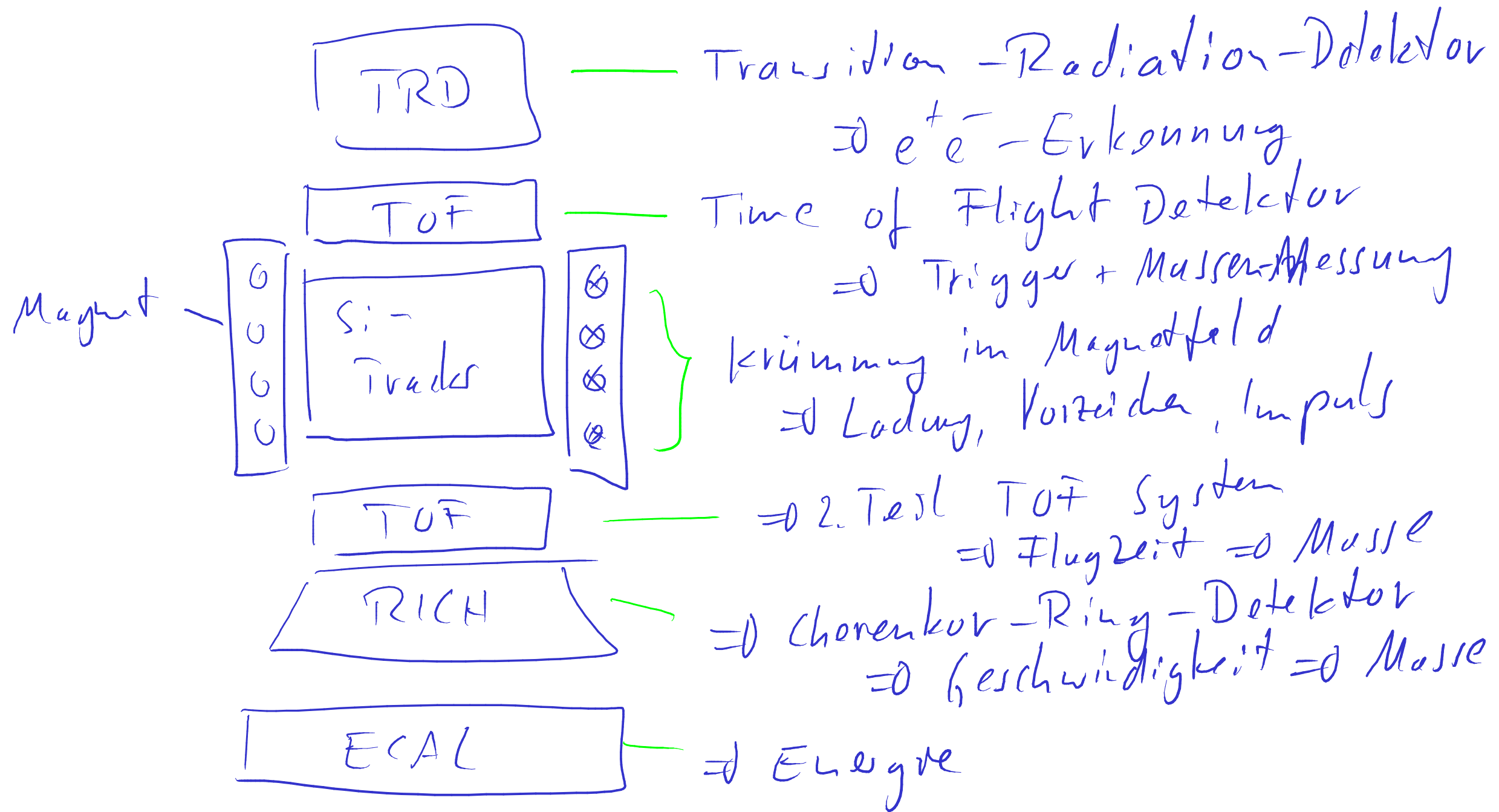
Luftschauer

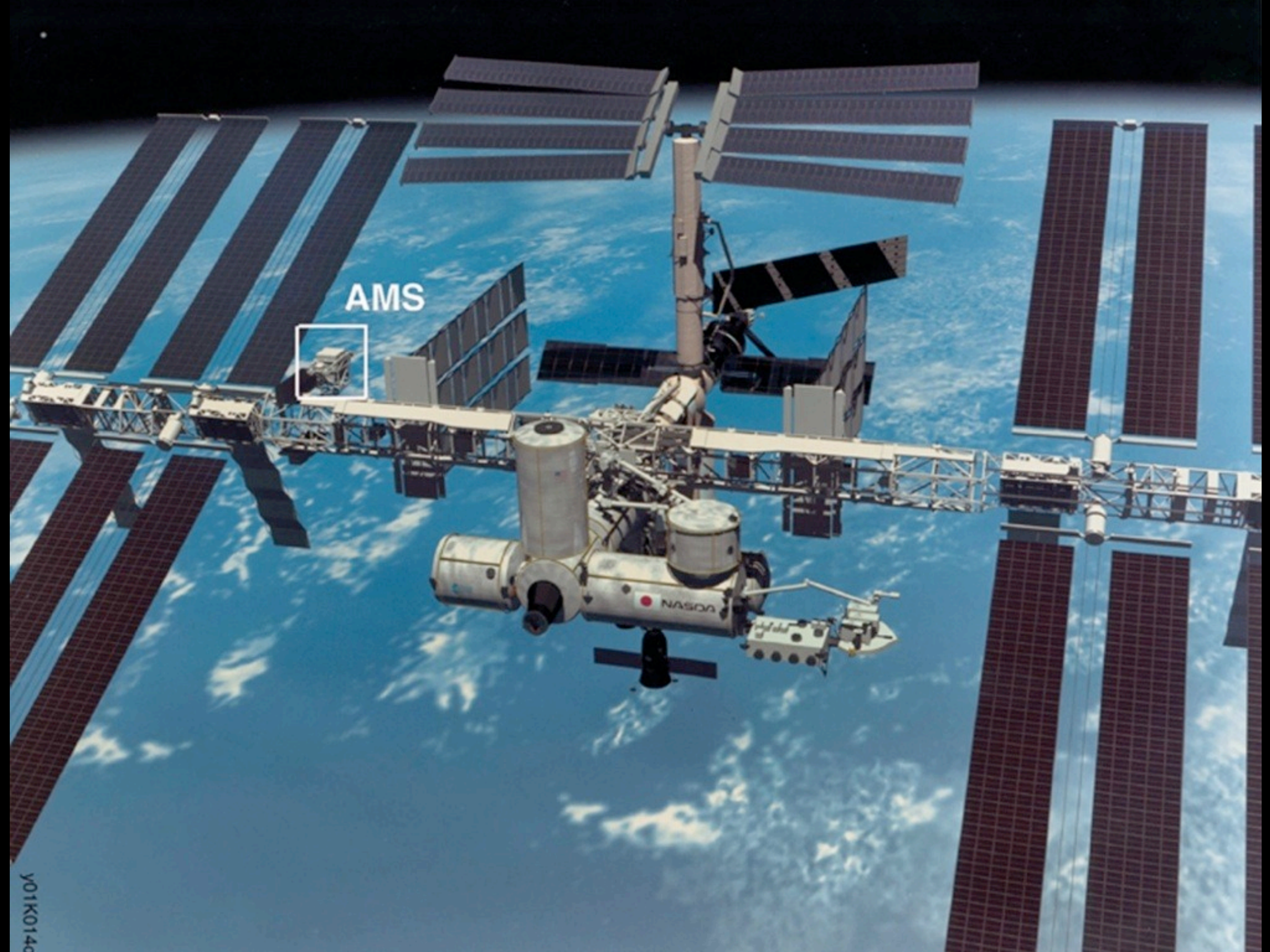
Fluoreszenz-Photon

"Fußabdruck" in den
Oberflächen-detektoren



Alpha Magnetic Spectrometer AMS an der ISS





AMS