

Lebensdauer von Positronen

Vorkurs zum Praktikum

Oliver Pooth
III. Physikalisches Institut B



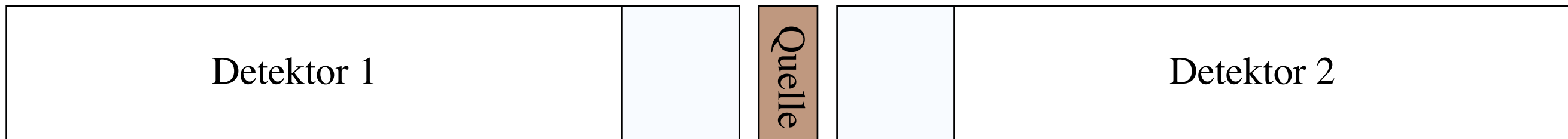
- Bestimmung der Lebensdauer von Positronen in Polyethylen und Aluminium
- Bestimmung des relativen Anteils an Bildung von Positronium in Polyethylen

Methode:

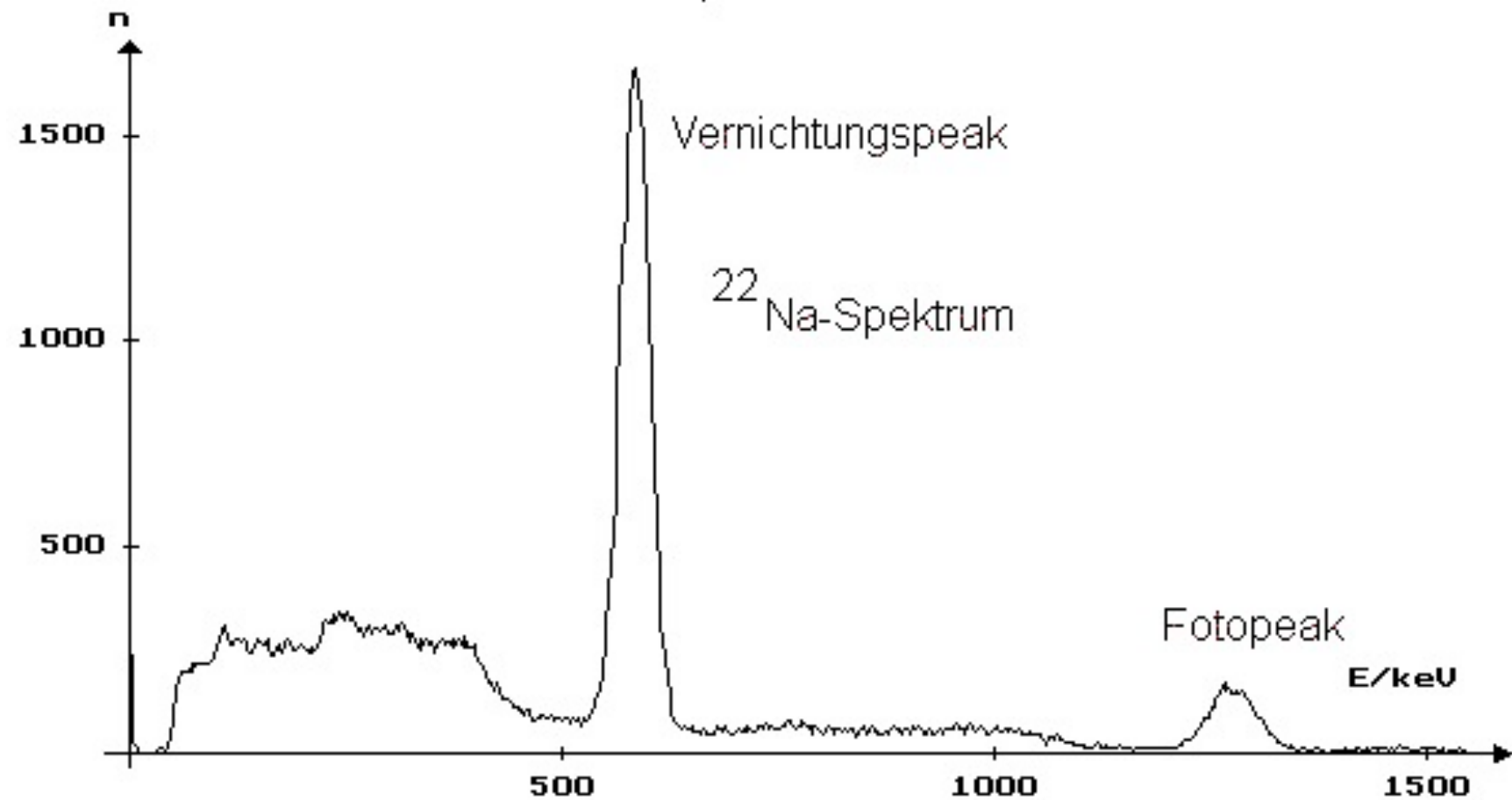
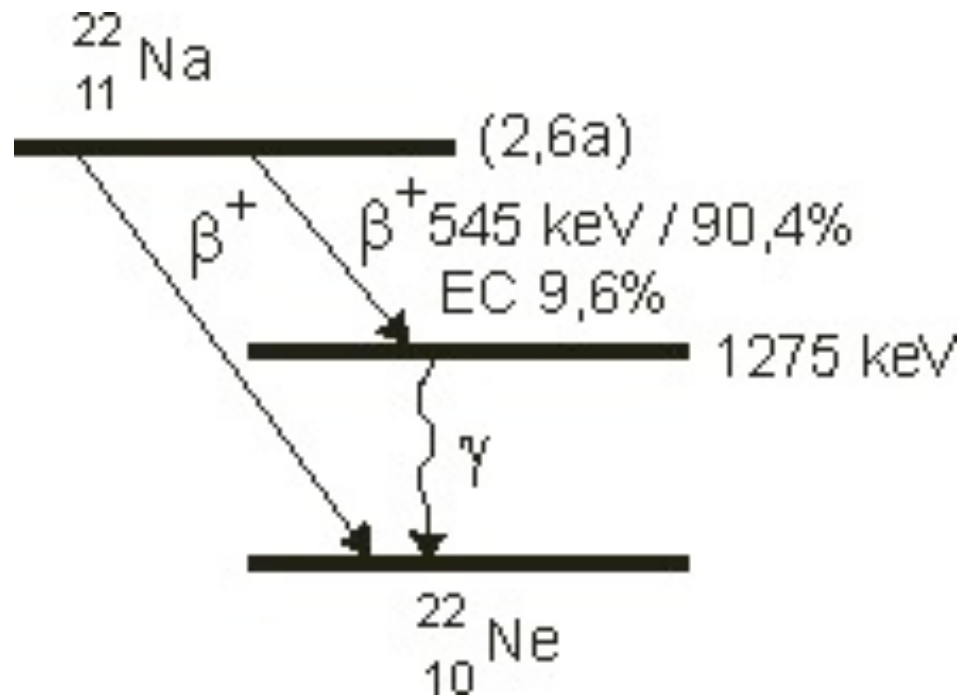
Aufbau eines Kurzzeitspektrometers (ns-Bereich)

Start: 1,28 MeV γ aus ^{22}Na (β^+ Strahler)

Stop: 511 keV Annihilationsquant (Zerfall des Positroniums im Festkörper)



^{22}Na Quelle



e^+ werden in Materie zunächst weitestgehend abgebremst bevor sie mit e^- zerstrahlen:

Abbremszeit pro Energieverlust im Prinzip
aus Bethe-Bloch ableitbar
(Stöße mit Hüll-Elektronen):

$$\frac{dt}{dE} = \frac{\frac{dt}{dx}}{\frac{dE}{dx}} = \frac{1}{v \cdot \frac{dE}{dx}}$$

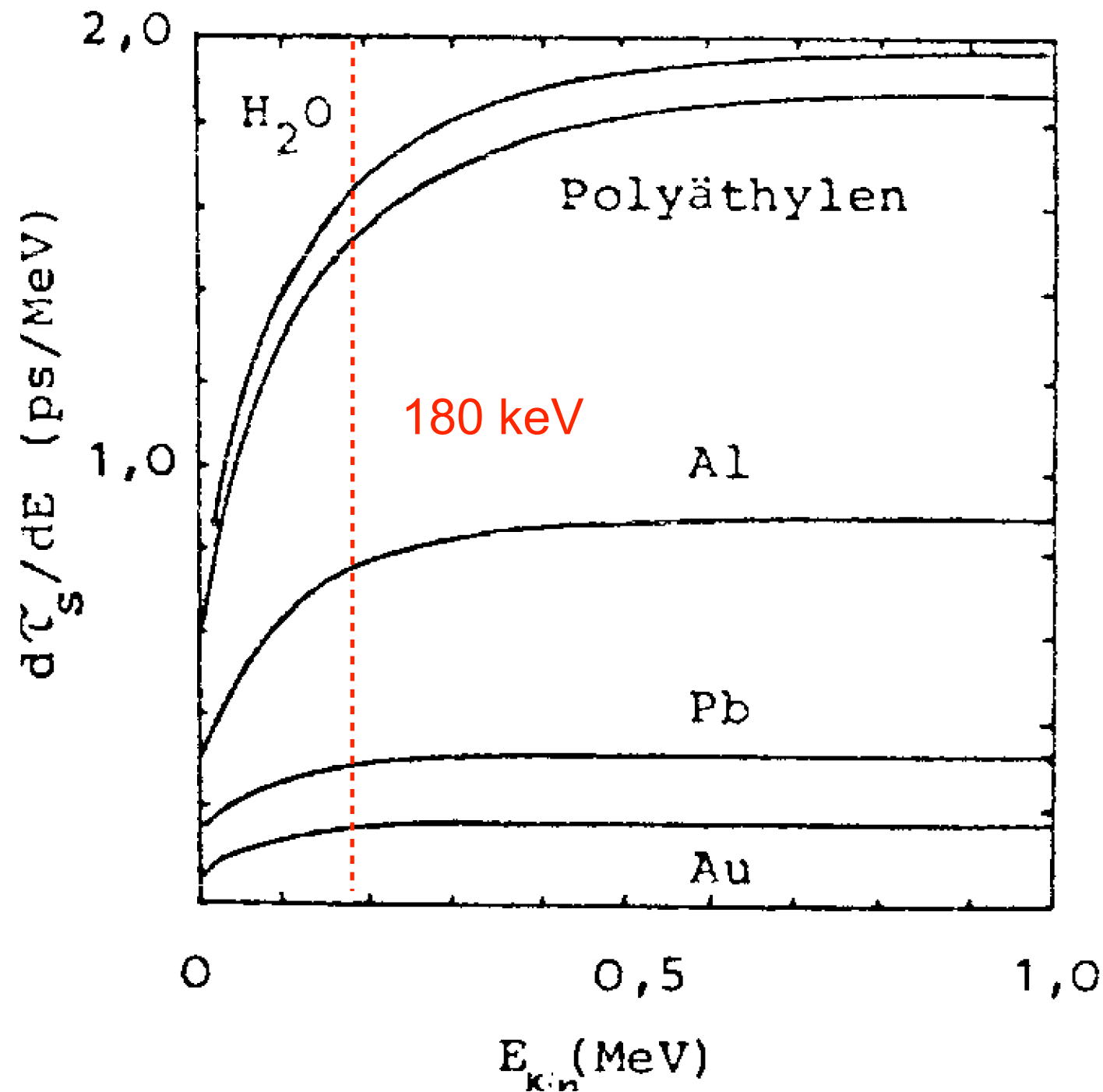
Theorie liefert Ausdruck für Abbremsung bis runter zu $E_{\text{kin}} \approx 10 \text{ keV}$
[Kohonen, 1961]

$$\frac{dt}{dE} = \frac{m_e (4\pi \epsilon_0)^2}{2\pi e^4 N Z} \frac{v(E)}{\ln \left(\frac{E^2}{I^2} \frac{\gamma+1}{2} \right) + f(\gamma)}$$

mit:

E	totale Energie des Positrons
$v(E)$	Geschwindigkeit des Positrons
m_e	Masse des Elektrons
N	Atomare Dichte des Mediums
Z	Kernladungszahl des Mediums
I	mittlere Anregungsenergie des Mediums ($I \approx 13,4 \cdot Z \text{ [eV]}$ für leichte Elemente)
γ	Lorentzfaktor ($\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$, $\beta = \frac{v}{c}$)
$f(\gamma)$	$= 2 \ln 2 - \frac{\beta^2}{12} \cdot \left(23 + \frac{14}{\gamma+1} + \frac{10}{(\gamma+1)^2} + \frac{4}{(\gamma+1)^3} \right)$

differentielle Abbremszeit



für e^+ aus ^{22}Na mit
 $E_{kin}(\text{mittel})$ 180 keV

Medium	τ_s [ps]
H_2O	0,24
Polyethylen	0,22
Aluminium	0,11
Blei	0,048

Abbremszeit

kin. Energie der Positronen

Näherung für 100 eV .. 10 keV
E: kin. Endenergie

$$\tau_s = \sqrt{E} \cdot 10^{-16} \frac{\text{s}}{\sqrt{\text{eV}}}$$

⇒ zusätzliche 10^{-15} s Abbremszeit

Unterschied Metalle / Isolatoren:

In Metallen (Aluminium) weiteres Abbremsen auf thermische Energien (1/40 eV) in 3 ps
In Metallen damit insgesamt lediglich einige ps.
⇒ **Annihilation in Metallen erst bei thermischen Energien.**

Thermalisierung in **Isolatoren**

(keine freien Elektron-Energiezustände zur Aufnahme von Energieüberträgen)
→ geht über Anregung von Gitterschwingungen

Theorie: 300 ps bis auf thermische Energien (liegt \approx in $O(T_{\text{Parapositronium}})$)

⇒ **Positronen in Isolatorkristallen können annihilieren bevor sie thermalisieren**

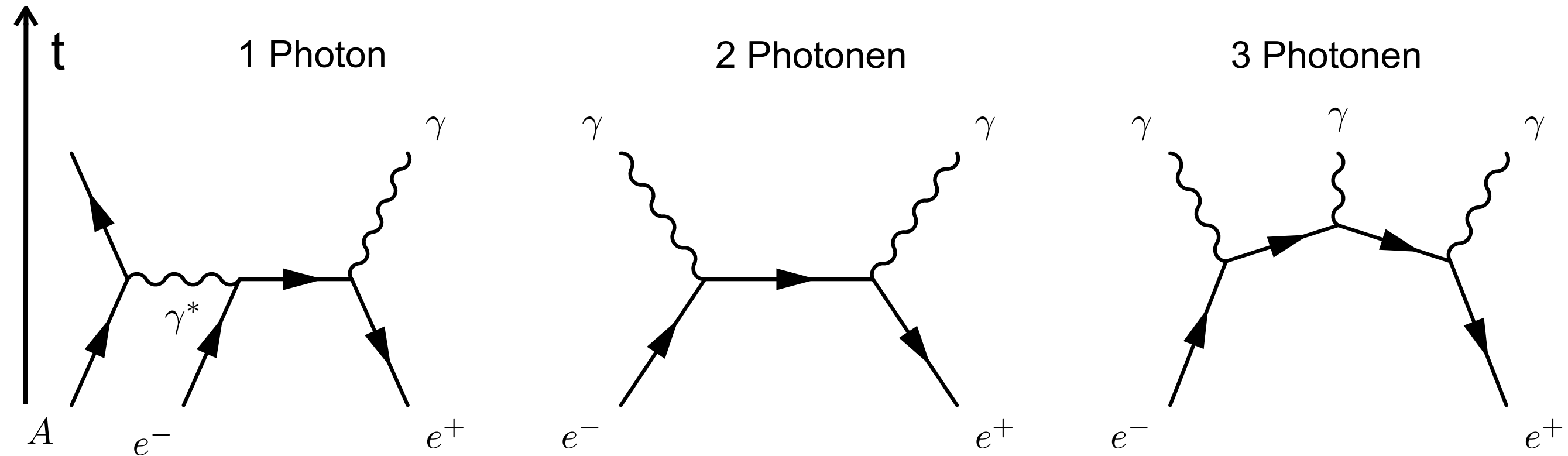
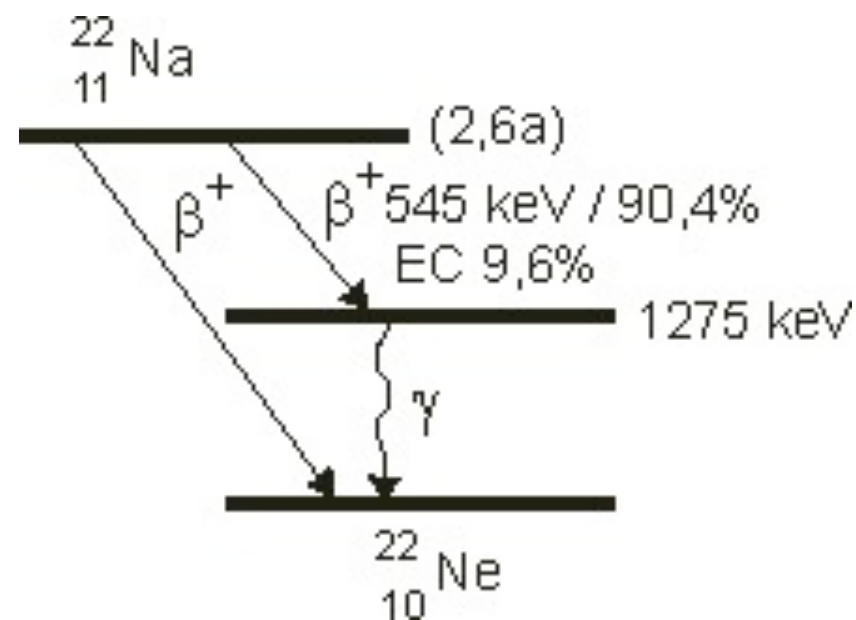
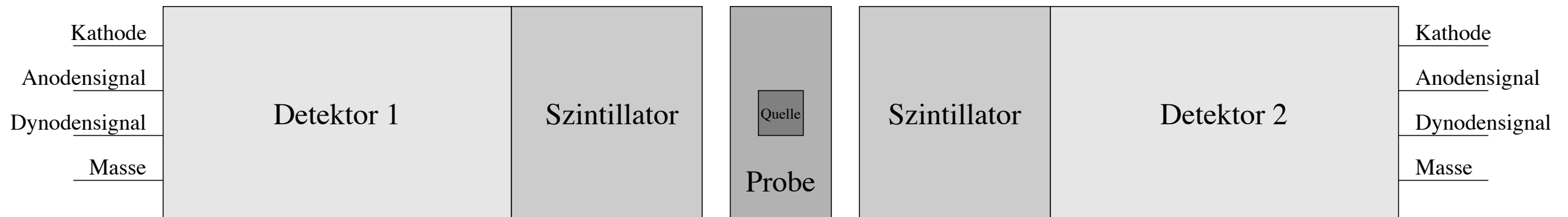
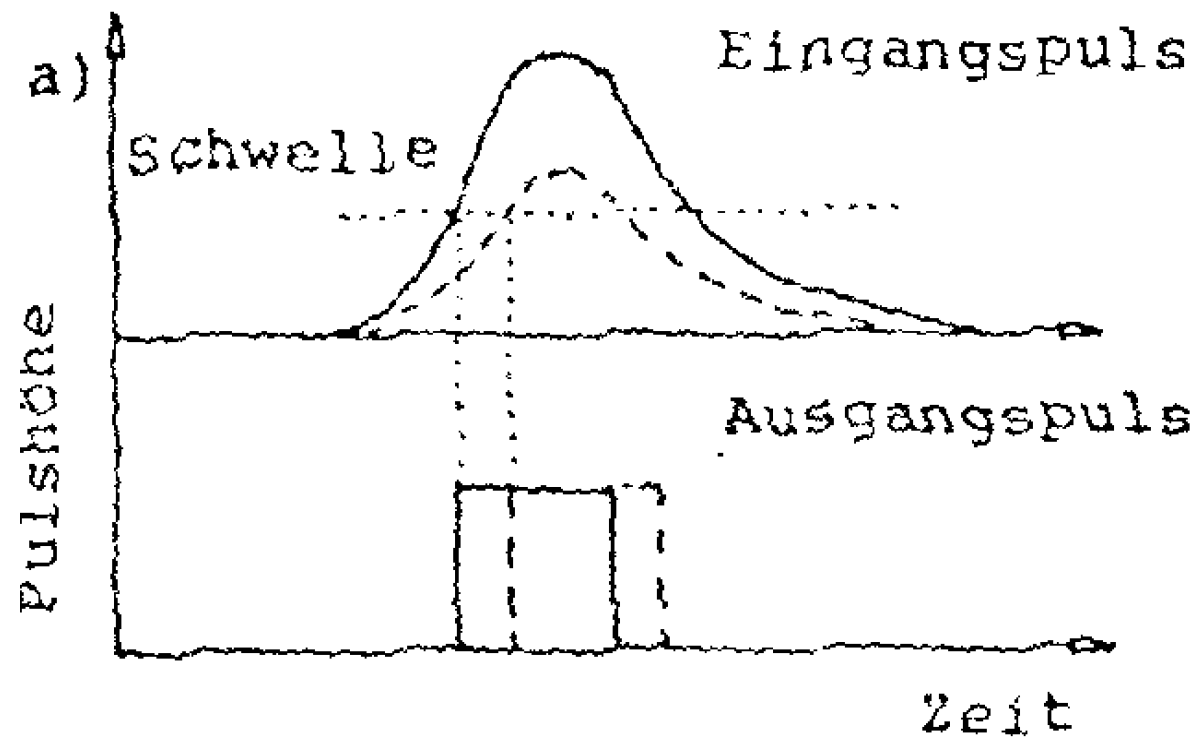


Abbildung 1.2: Feynmangraphen für die e^+e^- Annihilation in ein bis drei γ -Quanten.

an der Tafel ...



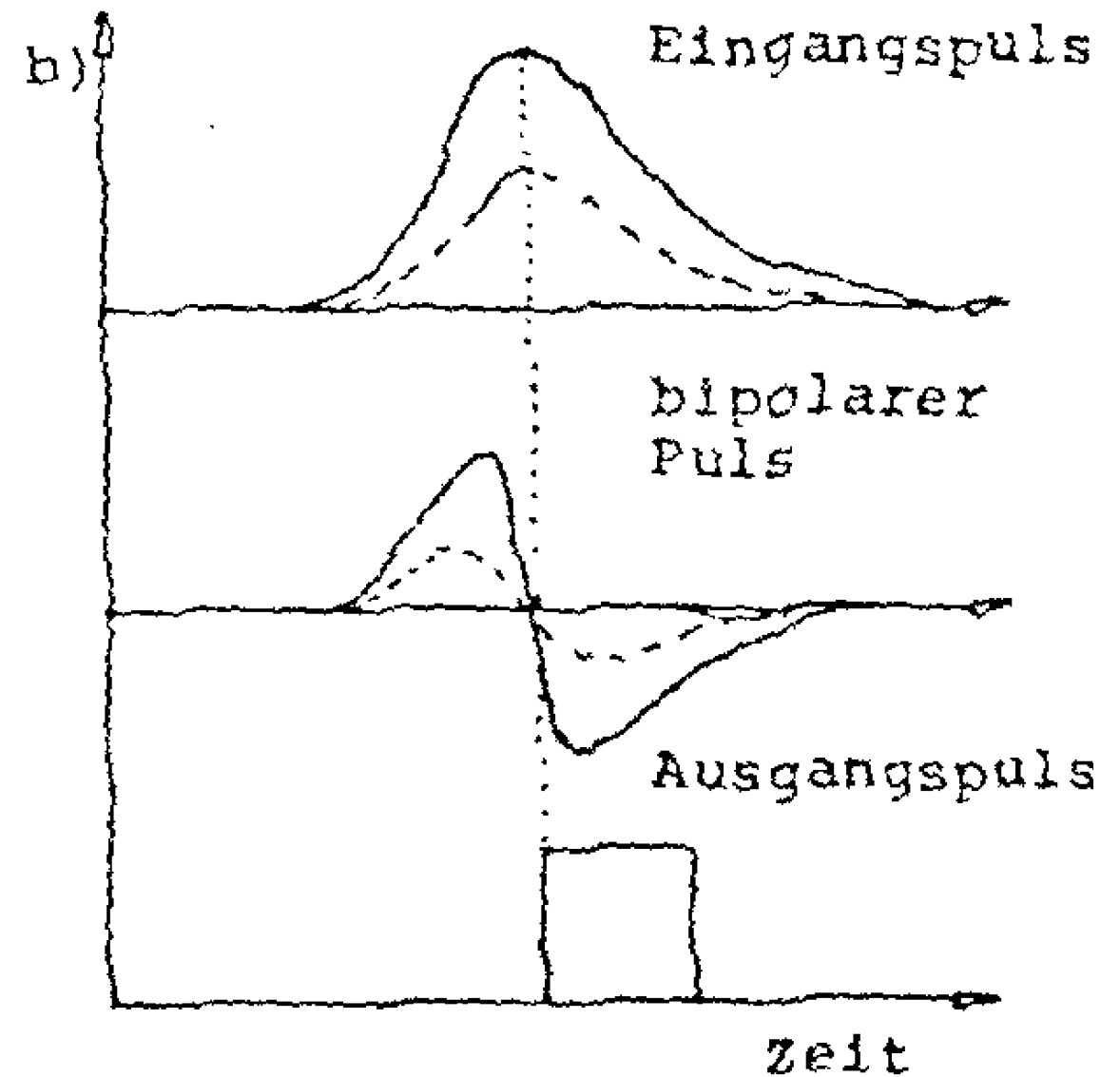
Start: ein Detektor registriert 1,28 MeV Photon vom ^{22}Ne
Stop: 511 keV Photon aus dem e^+e^- Zerfall

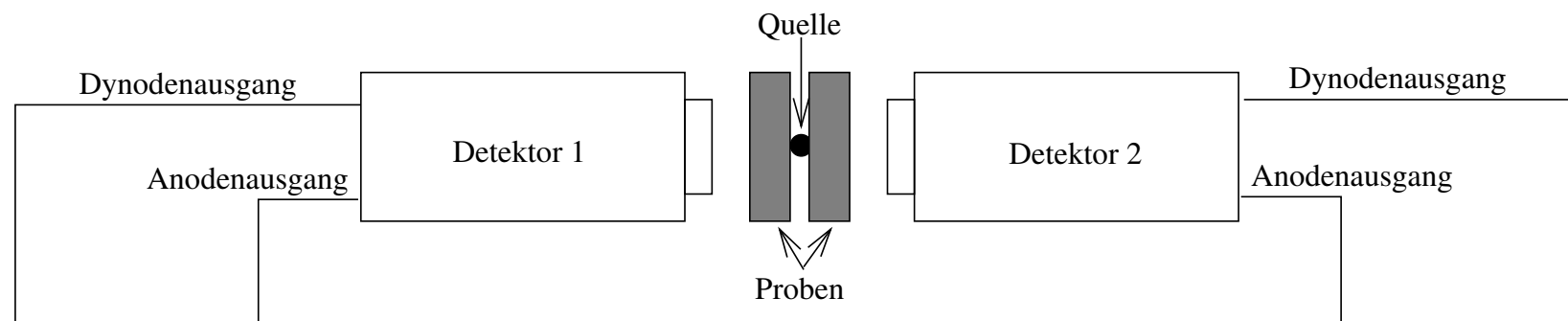


Problem: Zeit jitter (time walk)

Lösung:

Constant Fraction Diskriminator oder
Signale differenzieren (ableiten) →





selber machen

Spektrum ^{22}Na mit Plastik-Sz.

