

# **Protokoll zum Praktikumsversuch Myon-Lebensdauer**

Stephan Machulik 196726  
Martin Langowski 195103  
Gruppennummer: 20055-13  
Versuchsbetreuer: Thomas Schweizer  
Versuchszeitpunkt: 6.12.2005-12.12.2005

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>3</b>
3.1	Kalibrierung	
3.2	Zerfallszeitmessung	
<b>4.</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
4.1	Kalibrierung	4
4.2	Klassifizierung der Daten und erste Einschätzung	5
4.3	graphische Methode	6
4.4	Mittelwertmethode	6
4.5	Vergleich mit Literaturwert	7
4.6	Masse des W-Bosons	8
<b>5.</b>	<b>Zusätzliche Aufgaben</b>	<b>8</b>
<b>6.</b>	<b>Fehlerdiskussion</b>	<b>10</b>
<b>7.</b>	<b>Quellenangabe</b>	<b>10</b>

## **1. Einleitung**

Das Standardmodell der Elementarteilchen kennt drei Leptonenfamilien: Elektronen, Myonen und Tau-Leptonen mit ihren zugehörigen Neutrinos, sowie die zugehörigen Antiteilchen. Die geladenen Leptonen ( $e$ ,  $\mu$ , tau) haben identische Eigenschaften bei elektromagnetischer und schwacher Wechselwirkung und sie wechselwirken nicht stark. Allerdings haben sie verschiedene Eigenschaften bei der Gravitationswechselwirkung (d.h. verschiedene Massen).

Myonen zerfallen schwach durch Austausch eines W-Bosons.

Ein Myon zerfällt schwach in ein Elektron, ein Myonneutrino und ein Antielektronenneutrino.

Ziel dieses Praktikumsversuchs ist es die mittlere Lebensdauer eines Myons zu messen, aus der man zusätzlich noch die Masse des W-Bosons ermitteln kann.

Myonen entstehen durch Wechselwirkung kosmischer Strahlung mit der Erdatmosphäre und stehen deshalb überall auf der Erde zur Verfügung.

Energiereiche Protonen wechselwirken mit Kernen in oberen Atmosphärenschichten. Dabei entstehen unter anderen auch negative Pionen, die wiederum unter anderen in Myonen zerfallen. Da sich die so entstandenen Myonen schnell im Vergleich mit der Lichtgeschwindigkeit bewegen, muss man sie allerdings erst in "Ruhe" zum Beobachter bringen um ihre Lebensdauer messen zu können.

## **2. Versuchsaufbau**

Der Versuchsaufbau ist den Abbildungen 1 und 5 der Versuchsanleitung (sowie 1 und 6 für die Kalibrierung) zu entnehmen. Er besteht aus 2 Bleiplatten und 3 Szintillationszählern (Szintillator + Photomultiplier), die mit einer Messelektronik aus Koinzidenzschaltungen verbunden sind welche die ermittelten Daten an eine Computer weiterleitet wo diese aufgenommen bzw. gespeichert werden können.

Die Messung wird gestartet, wenn ein Myon koinzident in den Detektoren 1 und 2 gemessen wird. und gestoppt, wenn das Elektron, welches beim Zerfall entsteht koinzident in den Detektoren 2 und 3 gemessen wird. Dabei schließt man durch ein sogenanntes Gate Zeiten aus, die zu nahe an der ersten Koinzidenz liegen oder zu im Rahmen der vermuteten Zeit zu groß sind aus (Dreifachkoinzidenz).

## **3. Versuchsdurchführung**

### **3.1 Kalibrierung**

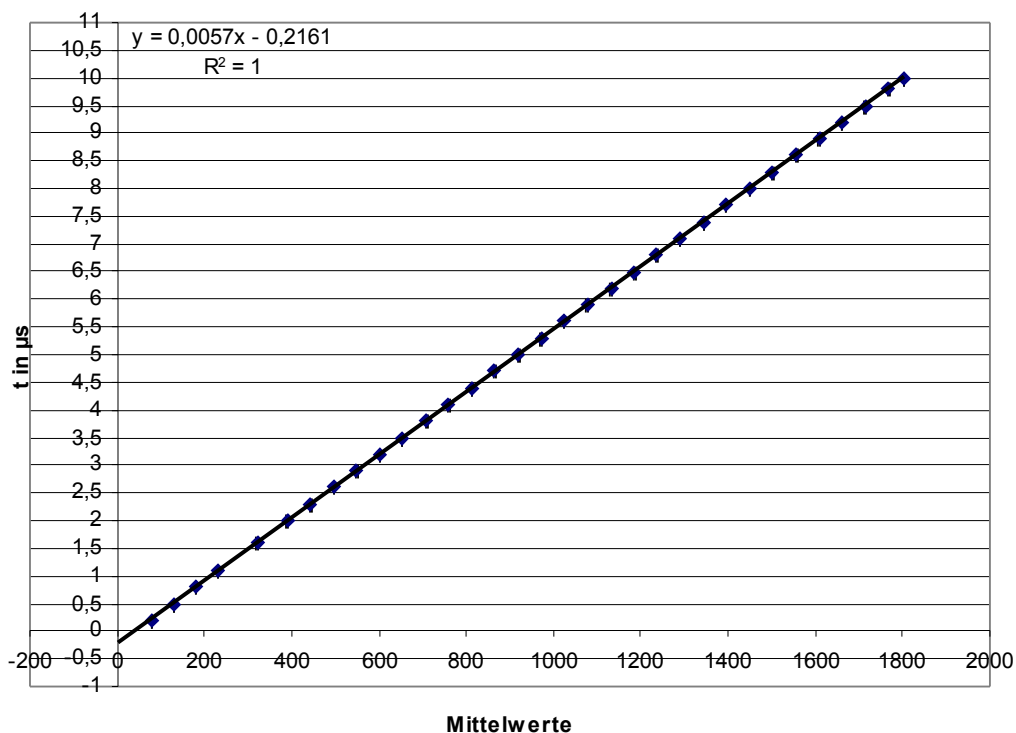
Die Ergebnisse der Messungen werden in einer Datei festgehalten, die aus ca. 2000 Werten besteht. Um herauszufinden für welche Zeit welche Werte stehen muss man zunächst eine Kalibrierung vornehmen. Dafür wird der in Abbildung 6 dargestellte Aufbau der Messelektronik verwendet. Es wird ein zeitlich sehr kleines Gate ( im Bezug zum später verwendeten) verwendet, dessen Position auf verschiedene Zeiten des interessanten Bereichs gestellt wird. Aus der Messung zu diesen Zeiten erhält man die zugehörigen Werte, aus denen man durch einen Kalibrierungsfit auf die anderen Werte-Zeit-Zugehörigkeiten schließen kann (natürlich nur wenn die Werte chronologisch richtig geordnet sind also nicht zufällig).

## 3.2 Zerfallszeitmessung

Der Aufbau der Meselektronik wird nach Abbildung 5 vollzogen und das Gate auf einen Bereich von  $0,2\mu\text{s}$  bis  $10\mu\text{s}$  eingestellt. (zusätzlich wird die Empfindlichkeit der Diskriminatoren der Koinzidenzmodule eingestellt). Dann kann man die über mehrere Tage andauernde Messung starten.

## 4. Auswertung

### 4.1 Kalibrierung



Es wurden in Zeiten von  $0,2\mu\text{s}$ - $10\mu\text{s}$  Messungen durchgeführt, um zu prüfen, welcher in der Datei gespeicherte Wert zu welcher Zeit gehört, um später aus den ermittelten Werten die Zeiten herauszubekommen. Die Fehler der Kalibrierung sind erheblich kleiner als die bei der späteren Messung ( $\ll 1\%$ ). Daher wird später angenommen, dass die Kalibrierung exakt ist.

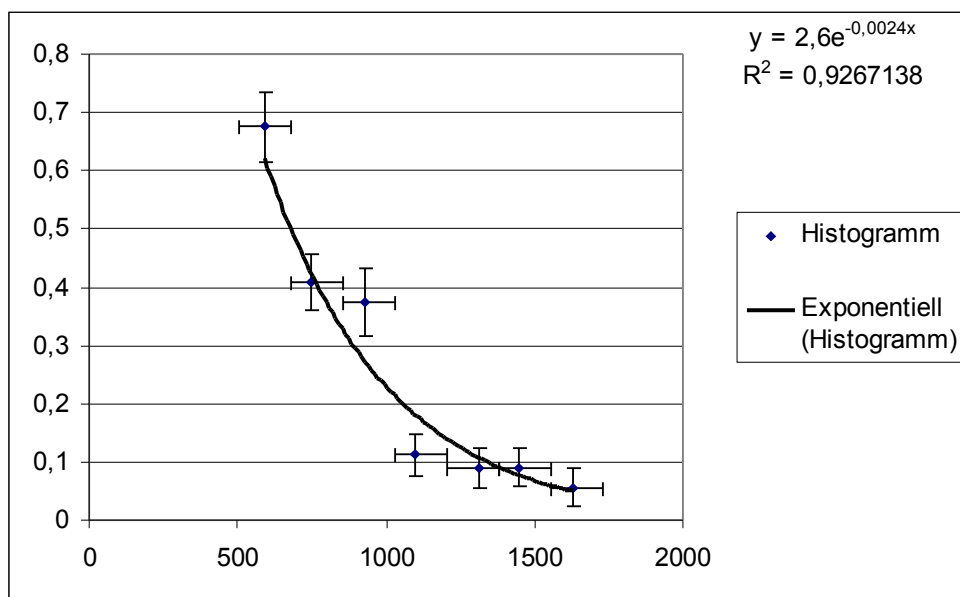
## 4.2 Klassifizierung der Daten und erste Einschätzung

Die ersten 150 Werte sind entweder 0 oder gehören zu einem sehr starken Peak, welcher nur durch eine eventuelle Fehlfunktion der Messapparatur hinweist und müssen daher vernachlässigt werden.

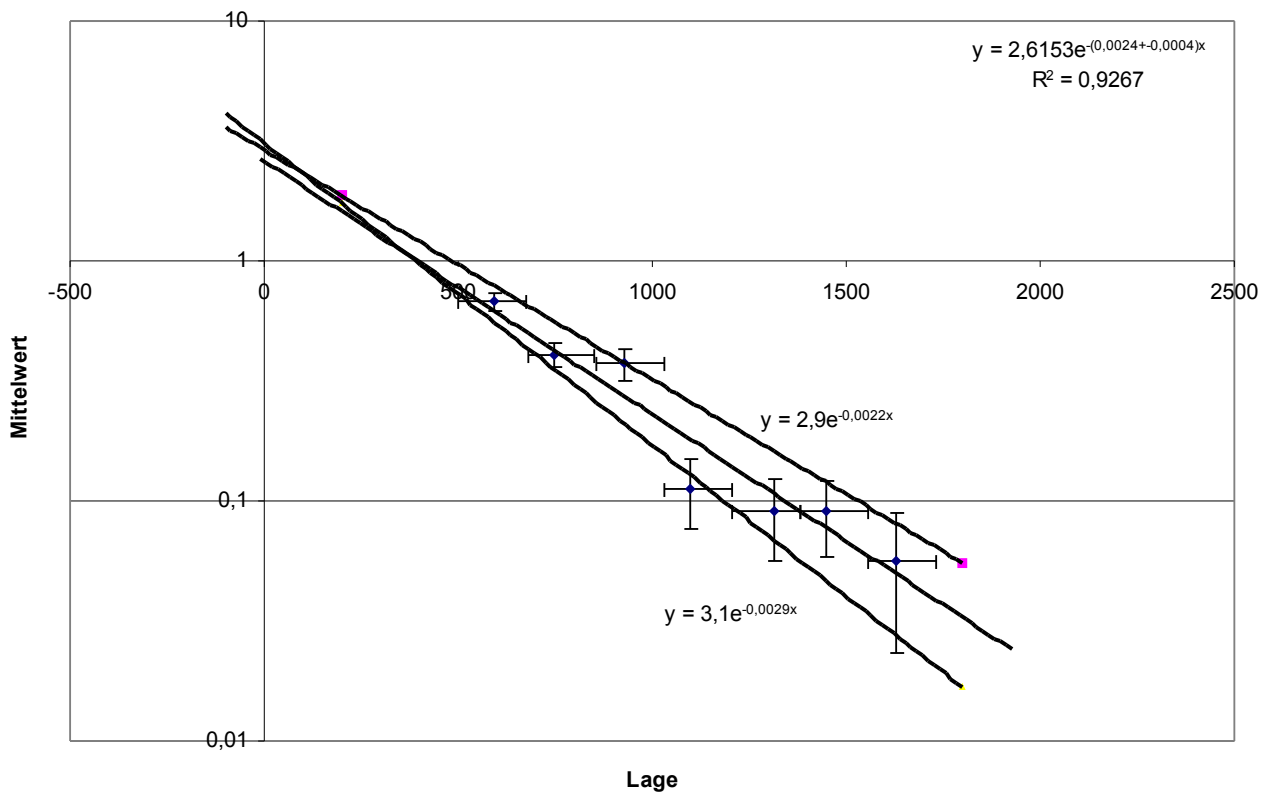
Die Werte von 1700-1900 wurden zur Bestimmung der Hintergrundstrahlung benutzt die auf eine Zählrate von 0,12 pro Wert gemittelt wurde. Da die niedrigste Zählrate pro Wert 1 ist, kann man davon ausgehen, dass der Fehler der Einschätzung in gleicher Größenordnung liegt, dies macht sich vor allen bei den größeren Werten (kleinere Zählung) bemerkbar.

Nun wurden die Übrigen Werte, nach Einführungsskript zum Praktikum, in  $5 \cdot \ln(N)$  Klassen unterteilt ca.36. Wegen trotzdem noch vorhandenen statistischen Fluktuationen wurden diese dann später aber noch Zusammengefasst. Um die Annäherung an den Tabellenwert zu erreichen mussten zusätzlich auch noch die Werte von 150-501 vernachlässigt werden, sodass zum Schluss noch 7 Klassen übrigblieben. Unter Berücksichtigung der Lage der Mittelwerte und einem exponentiellen fit-Ansatz erhält man einen Exponenten von  $-(0,0024 \pm 0,0004)x$ ,  $(1/(420 \pm 70)x)$  was nach der Kalibrierung einer Lebensdauer von

**$(2,2 \pm 0,4) \mu s$**  entspricht. Der Chiquadrat/Freiheitsgrade-Wert beträgt 0,93 was soviel heißt, dass man sich zu 93% irrt, wenn man die Hypothese verwirft.



### 4.3 graphische Methode



Bei der graphischen Methode werden nun nach Augenmaß 3 Geraden durch die Messwerte gelegt, und zwar so, dass eine Gerade so gelegt wird, dass sie "am besten passt" und die anderen so, dass sie die Fehlerbalken zu ca. 2/3 schneidet. Mit der Geraden, deren Steigung weiter von der Mittleren abweicht, wird der Fehler bestimmt. Als Mittlere Gerade wurde hier nicht nach Augenmaß, sondern nach Vorkenntnis die oben ermittelte Funktion verwendet. Der Exponent ist dann  $-(1/(420+90))x$ , was einer mittleren Lebensdauer von  $(2,2 \pm 0,5) \mu s$  entspricht.

### 4.4 Mittelwertmethode

Die Berechnung des Mittelwertes  $t$  und dessen Fehler wurde folgendermaßen durchgeführt:

$$t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k N_i t_i$$

$$\Delta t = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k N_i t_i^2 \right) - t^2}$$

Mit  $t_i$  und  $N_i$  als Zeit bzw. Zahl der Ereignisse des  $i$ -ten Intervalls.  $k$  ist die Anzahl der Klassen und  $N$  die Gesamtzahl der Ereignisse.

Bei unseren Messungen haben wir damit für  $t_{\text{mittel}}=(2,1 \pm 0,1)\mu\text{s}$ .  
 Für den theoretischen Mittelwert der Gesamten Verteilung ergibt sich damit die Formel:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} dt N_0 t \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right]}{\int_0^{\infty} dt N_0 \exp\left[-\frac{t}{\tau}\right]}$$

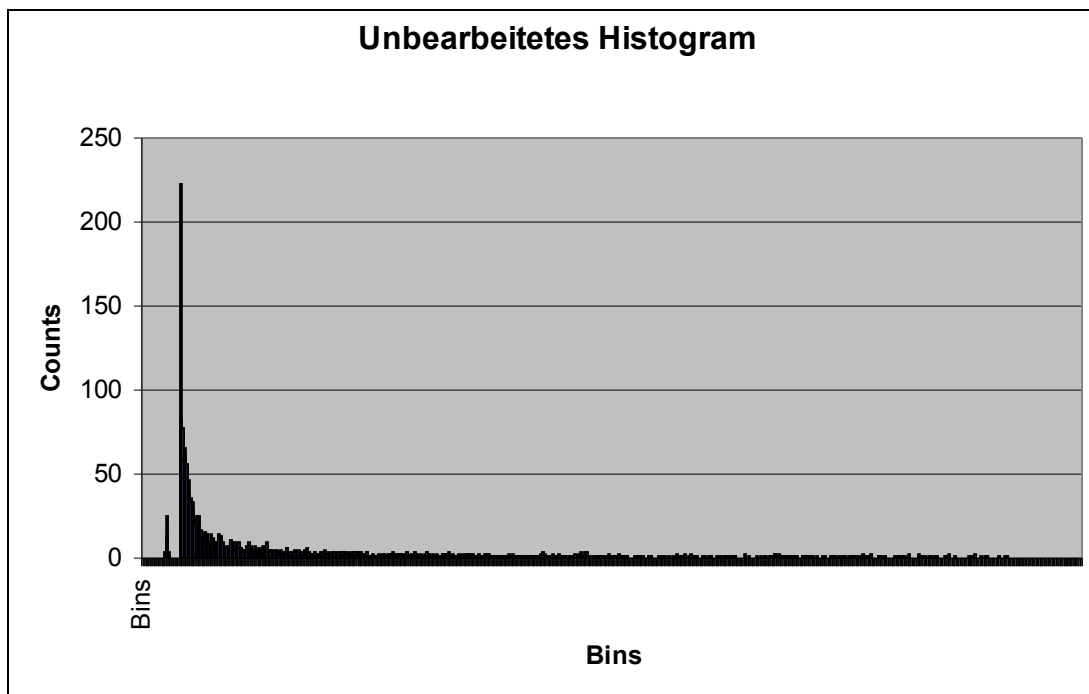
Da wir nur innerhalb eines begrenzten Intervalls unsere Messungen durchführen konnten, ist dieses Integral nicht mehr analytisch zu bestimmen. Zur Berechnung von  $\tau$  haben wir mithilfe von Excel bzw. Origin Numerische Verfahren genutzt.  
 Bei dieser Berechnung haben wir  $\tau=(1,1 \pm 0,1)\mu\text{s}$  erhalten.

#### 4.5 Vergleich mit Literaturwert

Die Messwerte stimmen mit dem in der Literatur zu findenden Wert von  $2,19\mu\text{s}$  im Rahmen der Messgenauigkeit überein.

Die Ausnahme bildet hierbei die Mittelwertmethode, deren errechneter Messwert nicht mit den Literaturwerten übereinstimmt. Der errechnete Wert liegt bei dieser Methode um ca. Faktor 2 unter dem Literaturwert.

Diese Abweichung kann damit begründet werden, daß wir einen Großteil der Meßwerte verwerfen mußten, da sie entweder falsch gezählt waren (erstes drittel der Messreihe) oder das Hintergrundrauschen zu groß war (3. drittel der Messreihe).(siehe Diagramm)



Unser Ergebnis für die Mittlere Lebensdauer ist demnach:  $\tau=(2,2 \pm 0,5)\mu\text{s}$

## 4.6 Masse des W-Bosons

Die im zum Versuchsskript gehörende Formel 12 stellt man nach der W-Bosonenmasse um. Der Fehler wird nach der vereinfachten Formel für das Fehlerfortpflanzungsgesetz für Multiplikative Funktionen mit Potenzen (Einführungsskript zum Grundlagenpraktikum (2003) S.32 Formel 32) berechnet (Fehler nur in Lebenszeit und im Winkel angenommen, wobei der Fehler des Winkels eigentlich vernachlässigbar ist).

Man ermittelt die Masse des W-Bosons als:

$$(80,3 \pm 0,4) \text{ GeV}$$

(Bei den Einheiten im Skript liegt ein Fehler vor...da müsste  $1/\text{GeV}$  statt  $\text{GeV}$  stehn, bzw  $\wedge_{-1}$ )

## 5. Zusätzliche Aufgaben

### zu 1.:

Maximale Elektronenenergie:

$$p_M = p_{\nu_M} + p_{\bar{\nu}_e} + p_e \quad m_{\nu_M} = m_{\bar{\nu}_e} = 0$$

$$\begin{pmatrix} E_M \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_\nu \\ \vec{E}_\nu \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_{\bar{\nu}} \\ \vec{E}_{\bar{\nu}} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_e \\ \vec{p}_e \end{pmatrix}$$

$E_e$  maximal, falls Impuls des Elektrons entgegengesetzt zum Impuls der Neutrinos.

$$E_M - E_e = E_\nu + E_{\bar{\nu}}$$

$$p_e = E_\nu + E_{\bar{\nu}}$$

$$p_e = E_M - E_e$$

$$p_e^2 = E_M^2 + E_e^2 - 2E_M E_e$$

$$E_e^2 - m_e^2 = E_M^2 + E_e^2 - 2E_M E_e$$
$$\underline{\underline{E_e = \frac{E_M^2 + m_e^2}{2E_M} = \frac{m_M^2 + m_e^2}{2m_M}}}$$

mit  $m_\mu = 0,10566 \text{ e}9 \text{ eV}$  und  $m_e = 511 \text{ e}3 \text{ eV} \Rightarrow E_e = 52,8 \text{ MeV}$

Die mittlere Strahlungslänge muss man aus einem Tabellenwerk ablesen und beträgt für Blei ca.  $0,6 \text{ cm}$  und für Kohlenstoff  $18,8 \text{ cm}$ .

### zu 2.:

Da sich die kosmischen Myonen fast mit Lichtgeschwindigkeit bewegen muss man  $c \cdot \tau$  noch mit  $\gamma$  multiplizieren um die mittlere auf der Erde beobachtete Zerfallslänge zu ermitteln, wobei man bei  $\gamma = 20$  auf  $\gamma \cdot c \cdot \tau = 12 \text{ km}$  kommt.

### zu 3.:

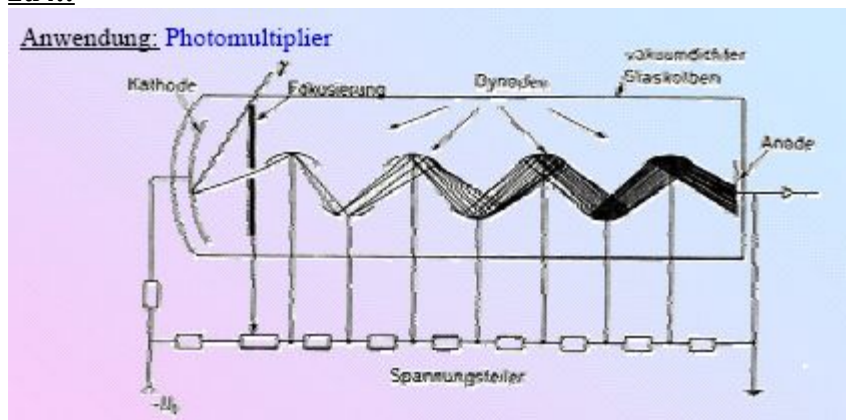
$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (1 \text{ m} = 5,08 \cdot 10^{15} (\text{GeV})^{-1}) \quad 1 \text{ s} = 1,52 \cdot 10^{24} (\text{GeV})^{-1}$$

$$m/s^2 = 1 / (3 \cdot 10^8)^2 \cdot 1/m = 1 / (9 \cdot 10^{16} \cdot m) = 2,18 \cdot 10^{-33} \text{ GeV}$$

$$g = 2,14 \cdot 10^{-32} \text{ GeV} = 2,14 \cdot 10^{-29} \text{ MeV}$$

$$\Rightarrow \underline{12 \text{ MeV/g} = 5,6 \cdot 10^{29}}$$

### zu 4.:



Wird ein Photon auf einen Photomultiplier gelenkt, so trifft es auf eine Metallplatte und kann durch den Photoeffekt ein Elektron aus dieser lösen. Dieses Elektron wird nun in einem elektrischen Feld auf eine weitere Platte geschossen und kann durch die zusätzliche Beschleunigungsenergie weitere Elektronen aus dieser lösen.

Diese werden wieder durch ein elektrisches Feld auf eine andere Platte gelenkt. Bei jedem Aufschlag auf eine Platte entstehen mehr Elektronen, als verloren gehen. So kann man bei einer Vielzahl von Platten einen verstärkten Photostrom messen.

### zu 6.:

Szintillatoren sind Stoffe, die beim Eindringen ionisierender Strahlung eine Lumineszenzstrahlung im sichtbaren Gebiet aussenden. Plastikszintillatoren bestehen ihren Namen nach aus Kohlenwasserstoffen, also größtenteils aus C, H, O.

Für den Kerneinfang ist im wesentliche Kohlenstoff zu berücksichtigen, da es eine deutlich höhere Kernladung als Wasserstoff aufweist.

## **6. Fehlerdiskussion**

Ein Problem das aufgetreten ist, war daß die Messwerte am Anfang, vom Messgerät falsch gemessen wurden. Damit war es schwierig abzuschätzen, ab welchem Bin der eigentliche Zerfallsprozeß vernünftig beschrieben wird. Die Messwerte bei größeren Zeiten wurden von dem Hintergrundrauschen überdeckt.

## **7. Quellenangabe**

- Online-Skript zum Versuch
- Gerthsen
- Nolting Band 4
- Einführungsskript zum Grundpraktikum 3 von 2003
- Vorlesungsskript von Thomas Lohse 2005 4. Semester Kapitel 1