

## **Master FP Zusammenfassung**

# **Master FP**

Kevin Sedlaczek  
kevin.sedlaczek@udo.edu

18. Juni 2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

# 1 V01 Lebensdauer kosmischer Myonen

- Bestimmung der Lebensdauer aus Einzellebensdauermessungen
- Myonen stammen aus Pionzerfällen in der Atmosphäre
- Zeitdilatation durch hohe Geschwindigkeit
- Nachweis über Szintillator (MeV Energiedeposition): Anregung des Szintillatormaterials
- Photonemission bei Abregung (sichtbares Licht)
- Bei Zerfall des Myons nochmalige Anregung durch hochenergetisches Elektron
- Problem: Unterscheide zufälliges Start und zugehöriges Stoppsignal
- Unabhängige Prozesse: Messung über Individuallebensdauern möglich
- $dW = \lambda dt$ , also  $dN = -NdW = -\lambda N dt$
- Große Messzahl macht Zusammenhang kontinuierlich:  $\frac{dN}{N_0} = \lambda e^{-\lambda t} dt$
- Messe  $N$  und bestimme daraus  $\lambda = \frac{1}{\tau}$  die Lebensdauer

## Durchführung:

- Organischer Szintillator (kurze Lebensdauern der angeregten Zustände sorgen für gute Zeitauflösung)
- SEV an beiden Enden: Photonen erzeugen Elektronen in PM, welche dann u Signal verstärkt werden
- Verzögerungsleitungen an beiden Seiten: Ausgleich der bauteilbedingten Laufzeitunterschiede auf beiden Seiten
- Diskriminatoren: Signalschwelle (Rauschunterdrückung), sowie Umwandlung in logisches binäres Signal
- Koinzidenzschaltung: Impulse in Zeitintervall  $\Delta t$  werden als gleichzeitig gewertet und weitergeleitet. Sehr gute Rauschunterdrückung, da zwei Signale so durch Rauschen sehr unwahrscheinlich.
- deutlich mehr Start als Stop Impulse erwartet: begrenze Wartezeit auf Stopimpuls
- Koinzidenzausgang aktiviert START am *time amplitude converter* (digitalisierung des Signals in Zeitkanäle)
- Kippstufe am Suchzeitgeber aktiviert: Signal an AND2
- Wenn in diesem Zeitraum zweiter Zerfall, wird Zeit gemessen
- sonst Kippstufe wieder in Anfangszustand

- Diskriminatoren mit Oszilloskop so einstellen, dass einheitliche Breiten (wieso?) und Höhen der Impulse
- Kalibrierung der Verzögerung auf maximalen Fluss
- Kalibrierung *tac* durch Doppelimpulsgenerator

#### Auswertung:

- Koinzidenz: 20 ns breiten 1,3 V hohe Impulse
- optimale Verzögerung aus Maximum des Flusses bei 5,5 ns
- Zeitkalibrierung der Kanäle: Regression der Impulszeiten gegen den Kanal
- Abschätzung der Untergrundkandidaten über Poissonverteilung:

$$N_F = N \frac{(T_S \bar{N})^k}{k!} e^{T_S \bar{N}} \quad (1)$$

- daraus bei Gleichverteilung Untergrund pro Kanal
- Fit einer Exponentialfunktion mit gleichverteiltem Untergrund an die Messdaten
- Lebensdauer etwa 2,2 s, Untergrund kleiner als erwartet
- Verbesserung vielleicht durch längere Messdauer bei Kalibrierung der Kanäle

## 2 V14 Tomographie mittels Gamma-Strahlung

- Nicht invasive dreidimensionale Untersuchung von Objekten mit Hilfe von Strahlung
- Bestimme Materialien innerhalb eines Metallwürfels mit Hilfe von  $^{137}\text{Cs}$
- $^{137}\text{Cs}$  zerfällt mit Halbwertszeit von 30 Jahren über  $\beta$ -Zerfall
- Hauptsächlich in metastabilen angeregten Zustand, welcher sich bei Halbwertszeit von 153 s und Energie von 0,662 MeV abregt
- Bei Durchgang durch Materie Wechselwirkungen mit Hüllenelektronen
- **Photoeffekt:** vollständige Energieabgabe an Hüllenelektron, sodass dieses  $E_\gamma - E_{\text{Bindung}}$  erhält. Dominant bei Energien unter 100 keV,  $\propto Z^5$
- **Comptonstreuung:** inelastische Streuung an freiem Elektron. Energieabgabe und Ablenkung des Photons.  $\propto Z^2$ . Dominanten zwischen 100 keV und 10 MeV
- **Paarerzeugung:** ab doppelter Elektronenruhemasse, also 1,02 MeV. Auslöschung des Photons für  $e^+e^-$  unter Abgabe von Energie an Atomkern. Da Energie bei 0,662 MeV nicht relevant.

- komplexe Überlagerung aller Effekte, aber insgesamt exponentielle Abnahme der Eingangsintensität:

$$I = I_0 e^{-\sum_i \mu_i d_i} \quad (2)$$

- Dies lässt sich in ein lineares Gleichungssystem umstellen:

$$\sum_i \mu_i d_i = \ln \left( \frac{I_0}{I_j} \right) \quad (3)$$

- Mit  $\mu$  als Vektor und  $d$  als Geometriematrix lässt sich so eine Regression durchführen
- In einer Schicht also 9 zu bestimmende Teilwürfel, also hat  $\mu$  Länge 9
- Matrix hat Dimension von  $\mu \times$  Dimension von  $\vec{I}$
- Least squares ergibt dann  $\mu = (A^T W A)^{-1} (A^T W \vec{I})$

### Durchführung:

- $^{137}\text{Cs}$ -Quelle ( $\gamma$ -Strahler) auf NaI-Szintillationsdetektor
- Strahlung regt Moleküle an, beim Abregen wird Licht emittiert
- Detektion mit PM und Speichern nach Signalstärke (Anzahl Photonen)
- Erst Nullmessung ohne Würfel (Aktivität der Quelle:  $I_0$ ), dann Leermessung mit leeren Würfel
- Leermessung um Einfluss von Alugehäuse rauszurechnen
- Messung eines reinen Messing-, eines reinen Blei- und eines unbekannten Würfels

### Fehlerquellen:

- Verschmierungen durch Strahldivergenz
- Schiefe Einstellung der Geometrien
- nicht genug Statistik
- Materialien haben teilweise sehr ähnliche Koeffizienten (Unterscheidung schwierig)

### 3 V21 Optisches Pumpen

- Untersuchung von Übergängen bestimmter Energieniveaus in Rubidium-Isotopen
- Erlaubt Bestimmung von Lande-Faktoren, sowie Elektronen- und Kernspins

#### Theorie:

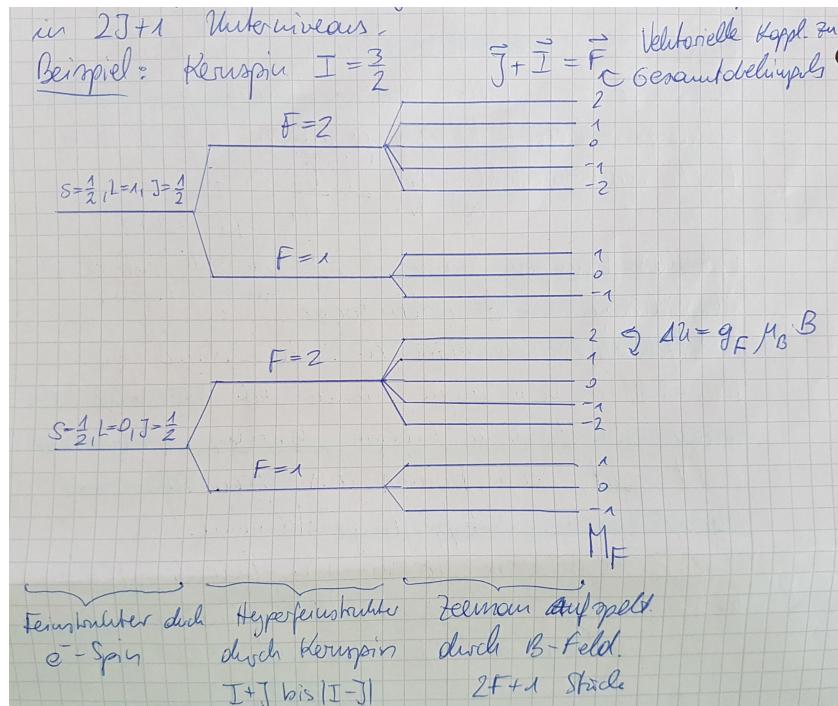
- Elektronen in Atomen auf festen Energieniveaus
- Veränderung des Niveaus erfordert/emittiert exakten Energiewert
- Besetzung äußerer Niveaus temperaturabhängig: Boltzmann-Verteilung
- Verhältnis der Besetzungszahlen zweier Niveaus:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} \frac{\exp(W_2/k_B T)}{\exp(W_1/k_B T)} \quad (4)$$

- Mit den Energien  $W_i$ , und den Lande-Faktoren, die beschreiben, wieviele Zustände zu der entsprechenden Energie gehören
- optisches Pumpen ermöglicht das Erzeugen einer Abweichung davon, bis hin zur Besetzungsinversion
- so eine nicht thermische Verteilung ermöglicht induzieren von Übergängen, sodass Energien des entstehenden Lichtes gut vermessen werden können
- Verteilung der Elektronen auf Energieniveaus folgt Auswahlregeln
- Magnetische Momente aus Gesamtdrehimpuls, Drehimpuls und Spin  $\propto \sqrt{J(J+1)}$
- Moment aus Gesamtdrehimpuls präzidiert um Gesamtdrehimpuls  $J$
- $g_J$  ist abhängig von  $J, S, L$
- Äußeres Magnetfeld verursacht Aufspaltung der Energieniveaus (Zeeman-Effekt)

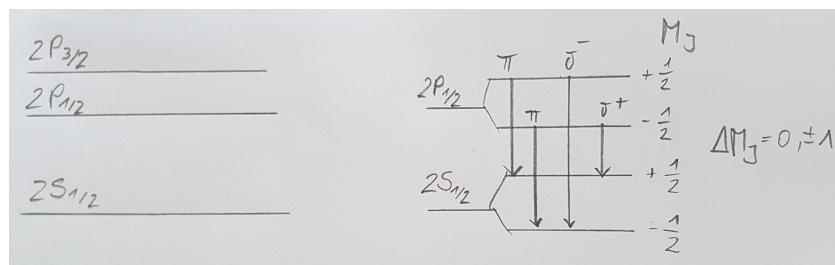
#### Optisches Pumpen:

- Betrachte System ohne Kernspin mit zwei angeregten, sowie einem Grundzustand
- In der Zeeman-Aufspaltung entstehendes Licht besitzt bestimmte Polarisationen
- Die  $\sigma^\pm$  Linien sind rechts- bzw. linkszirkular polarisiert und erscheinen nur parallel zum Magnetfeld
- Die  $\pi$ -Linien sind linear polarisiert und werden nicht parallel zum B-Feld emittiert
- Licht einer Spektrallampe auf  $D_1$ -Filter und Polarisationsfilter, sodass rechtszirkularpolarisiertes  $D_1$ -Licht



**Abbildung 1:** Aufspaltung der Energieniveaus innerhalb eines Atomes. Dargestellt sind die Feinstrukturaufspaltung durch den Elektronenspin, die Hyperfeinstrukturaufspaltung durch den Kernspin, sowie die Zeeman-Aufspaltung durch ein äußeres Magnetfeld.

- Einziger Übergang dann  $^2S_{1/2}$  zu  $^2P_{1/2}$ , bzw rückwärts durch Emission
- Bei der Emission werden allerdings beide  $^2S_{1/2}$  Zeeman-Niveaus besetzt, sodass das  $M_J = -1/2$  langsam leergepumpt wird
- Daraus folgt eine Besetzungsumkehr im S-Niveau, die sich in der Transparenz der Dampfzelle widerspiegelt
- je weniger Elektronen im unteren Niveau sind, und angeregt werden können, desto durchsichtiger der Dampf



- 2 Prozesse: spontane Emission / angeregte Emission
- spontane Emission  $\propto \nu^3$ . Hierbei quasi nur induziert, da niedrige Energie
- Energiedifferenzen in Zeeman abhängig von B-Feld:  $h\nu = g_J\mu_B B \Delta M_J$
- Bei angelegtem B-Feld automatisch Besetzungsinvolution, allerdings nur bis  $B_m = \frac{4\pi m_0}{e_0 g_J} \nu$ , dann induzierte Emission
- bei stärkeren Magnetfeldern neben WW der magnet. Momente mit äußerem Magnetfeld auch Effekt zwischen den Momenten untereinander wichtig
- bei schnell eingeschalteten Magnetfeldern **transiente Effekte**: gedämpfte Schwingung bei Messung der Transparenz
- Grund: Präzession des magnet. Momentes (klassisch: mit Larmor-Frequenz)
- Frequenz ermöglicht Bestimmung des Isotopenverhältnisses in Lampe, da Periodendauer spezifisch für Isotop

#### Durchführung:

- Licht einer Rubidiumlampe über Linse fokussiert und parallelisiert
- $D_1$ -Filter filtert 794,8 nm Linie heraus
- Filter besteht aus Dielektrikum der Dicke  $d$  und Brechungsindex  $n$ , das von einer reflektierenden Schicht umgeben ist
- Mehrfache Reflexion von einfallendem Licht sorgt dafür, dass Wellenlängen der Größe

$$m \cdot \lambda_m = 2nd + \frac{\lambda}{2} \quad (5)$$

konstruktiv interferiert

- Dann lineare Polarisation durch Filter um dann mit  $\lambda/4$ -Plättchen zirkular gemacht zu werden.
- **$\lambda/4$ -Plättchen:** aus anisotropem Material bestehende Verzögerungsvorrichtung. Verzögert Licht entlang zweier Achsen unterschiedlich stark, sodass ein gewünschter Phasenunterschied erzeugt werden kann. Für linear zu zirkular muss Phasenunterschied  $\pi/2$  sein
- Licht fällt dann auf Dampfzelle, die elektrisch beheizbar ist (Druckregulation/breitere thermische Verteilung)
- Zelle von zwei Helmholtzspulenpaaren umgeben. Nord-Süd Ausrichtung um horizontal und eine Spule um vertikal das Magnetfeld ausgleichen zu können
- dann mit zweiter Spule niederfrequentes B-Feld anlegen + Decke um Licht abzuschirmen

- Sägezahnspannung an Spulenpaar und Untersuchung der dips bei verschiedenen Frequenzen
- dann Rechteckspannung variierender Frequenzen um Überschwingen zu untersuchen (Frequenz bestimmen)

#### Auswertung:

- Lande-Faktoren  $g_F$  aus lokalem Minimum für verschiedene Frequenzen der Sweep-Spule
- lineare Regression des Magnetfeldes gegen die Frequenz
- aus  $g_F$  lässt sich  $g_J$  und dann der Kernspin  $I$  bestimmen:  $I = \frac{g_J}{2g_F} - \frac{1}{2}$
- $I_{87} = 1,520 \pm 0,016$  (soll  $3/2$ ) und  $I_{85} = 2,505 \pm 0,013$  (soll  $5/2$ )
- Isotopenverhältnis wird aus Amplitudenunterschied der Transparenzminima bei Hochfrequenzmessung bestimmt
- $\frac{N(85)}{N(87)} \approx 2$

## 4 V57 Rauschen

- Untersuchung des thermischen Spannungsrauschen, sowie des Stromrauschen von zwei Kathoden
- Außerdem Rauschzahl und Boltzmann-Konstante
- Wechselspannungen aus Potentialdifferenzen durch Fluktuationen
- durchaus Auswirkungen auf Präzisionsmessungen
- unterschiedliches Frequenzverhalten
- thermisches Rauschen an Ohmschen Widerständen, Elektroden unterschiedliche Anzahl an austretenden Elektronen
- Abhängig von der Geometrie des Bauteils. **Schrot**-Effekt
- Effekte durch zeitliche Änderung der Austrittsarbeit des Anodenmaterials, **Funkel**-Effekt
- Da statistisch, verschwindet Mittelwert über große Zeiten, sodass Mittelwert der quadrierten Spannung untersucht werden muss

#### Thermisches Rauschen

- Nyquist Beziehung:  $\bar{U^2} = 4k_B T R \Delta\nu$  beschreibt weißes Rauschen, also unabh. von Breite des Frequenzbandes

- Rauschspannungsquadrat der Widerstände durch endliche Kapazitäten verringert
- Maxwell-Boltzmann verteilt

### Schrotrauschen

- Elektronenröhren: Effekte bei Übertragung der Elektronen von Kathode zur Anode
- Schottky-Beziehung  $\bar{I}^2 = 2e_0 I_0 \Delta\nu$ , allerdings Annahmen, dass  $v_0$  der Elektronen Null, keine ablenkenden Sekundärelektronen

### Funkel-Effekt

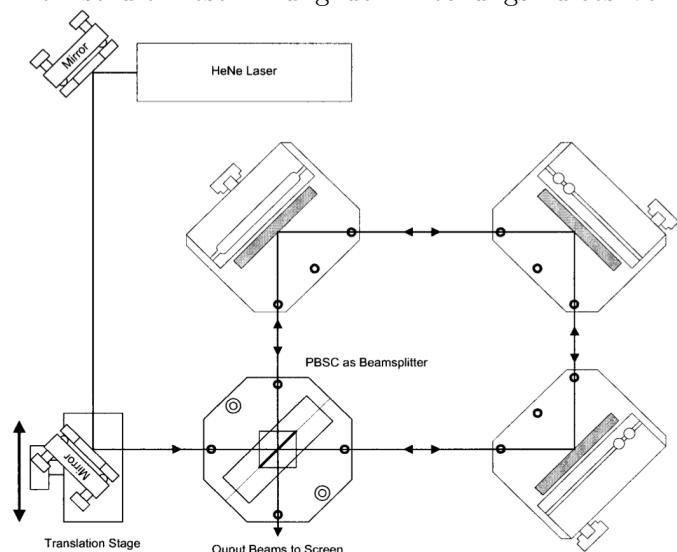
- $1/f$ -Abhängigkeit, also wichtig bei kleinen Frequenzen
- gültig für sehr große Frequenzbereiche und ohne untere Grenze
- Funkel-Effekt bei Elektronenröhren mit Oxydkathode
- physikalische Effekte: atomare Diffusionsprozesse (lokale sprunghafte Änderung des Widerstandes)
- große Frequenzen dominiert von Schwankungen der Austrittsarbeit (durch lokale Fremdatome) der Oxydkathode

### Durchführung

- Spannungsrauschen zweier Ohmscher Widerstände

## 5 V64 Interferometrie

- Ziel ist die Bestimmung der Brechungsindices von Luft/Kohlenstoffdioxid/Glas



- Sagnac-Interferometer: HeNe-Laser Strahl 632,8 nm über zwei Spiegel in Interferometer
- trifft dann auf polarisierenden Strahlteiler: Ein Teil passiert geradlinig, ein Teil rechtwinklig reflektiert
- senkrecht zueinander polarisiert
- Strahlteiler: zwei Prismen mit dreieckiger Grundfläche, Strahl trifft im 45grad Winkel auf Grenzfläche
- Strahlen laufen dann über drei Spiegel im Rechteck, wobei Überlagerung
- dann erneut auf den Strahlteiler und reflektiert zu PM
- leichtes Verschieben des zweiten Spiegels ermöglicht Tennen in zwei Teilstrahlen innerhalb der Apparatur
- so kann etwas in den einen Strahl gelegt werden, ohne den anderen zu beeinflussen
- Vorteil dieses Aufbaus: resistent gegen kleiner Erschütterungen, da beide Strahlen den selben Weg durchlaufen
- **Kontrast:**  $K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ , zwischen 1 und 0
- hier: Untersuchung des Kontrastes in Abhängigkeit des Polarisationswinkels eines Filters
- $K \propto |\sin(2\varphi + \delta)|$
- Brechungsindex in Materie ist Quotient der Lichtgeschwindigkeit im Vgl. zum Vakuum
- Phasendifferenz zwischen Strahlen durch Gaszelle in einem Strahl

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{vac}}} \Delta n \quad (6)$$

- linearer Zusammenhang zwischen Phasendifferenz und Brechungsindexdifferenz
- Zusammenhang zwischen Anzahl Intensitätsmaxima und Brechungsindex  $M = \frac{\Delta\varphi}{2\pi}$
- Brechungsindex  $n = \frac{\lambda_{\text{vac}}}{L} M + 1$
- Im Allgemeinen ist  $n$  aber druck- und temperaturabhängig (Lorentz-Lorenz-Gleichung)

$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} = \frac{Ap}{RT} \quad (7)$$

- für Gase ist  $n$  i.d.R. etwa 1, sodass man vereinfachen kann zu  $n \approx \sqrt{1 + \frac{3Ap}{RT}}$

- Bei Festkörper, wo nicht einfach Druck oder Temperatur variiert werden können, kann die Wegstrecke über die Drehung geometrisch verändert werden
- **Allgemein was zu Brechung etc**

## Durchführung

- erst Kontrastbestimmung: Polarisationsfilter vor Interferometer und von 0 bis 360grad variiert
- Messe Photostrom in Abängigkeit vom Winkel und bestimme som Maximum/Mi-nimum (daraus Kontrast)
- wiederholt sich in  $\pi$
- $n_{\text{Glas}}$ : zehnmal den Winkel des Doppelglashalters langsam von 0 bis  $10^\circ$  drehen
- Zählautomatik misst dabei Anzahl der Interferenzmaxima
- $n_{\text{gas}}$ : Evakuierung und Ventilierung der Gaszelle je drei Messreihen in Abh. des Drucks
- 50 mbar Schritte von 50 mbar bis 1000 mbar
- aus der Regression:  $m \approx \frac{3A}{2RT}$ , dann auf Normalbedingungen umrechnen ( $\frac{T}{T_0}$ )