

MESSUNG DER FLUORESCENZAUSBEUTE VON LUFT MIT DEM AIRLIGHT EXPERIMENT

T. Waldenmaier¹, J. Blümer^{1,2}, H.O. Klages¹, S. Klepser³

¹ Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Kernphysik, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

² Universität Karlsruhe, Institut für Experimentelle Kernphysik, Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

³ DESY Zeuthen, Platanenallee 6, 15738 Zeuthen

Motivation

Ausgedehnte Luftschauren regen die Stickstoffmoleküle der Atmosphäre an. Deren Fluoreszenzemissionen können mit empfindlichen Fluoreszenzteleskopen gemessen werden. Die gemessene Lichtmenge ist ein Maß für die in der Atmosphäre deponierte Energie des Luftschaurers und damit ebenso für die Energie des Primärteilchens [4]. Der "Umrechnungsfaktor" zwischen emittierter Photonenzahl und deponierter Energie ist die sog. Fluoreszenzausbeute. Ihr genauer Wert und dessen Abhängigkeit von Luftzusammensetzung und Luftdruck wird mit dem AirLight Experiment untersucht.

Modell

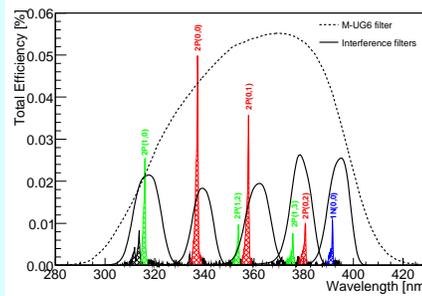
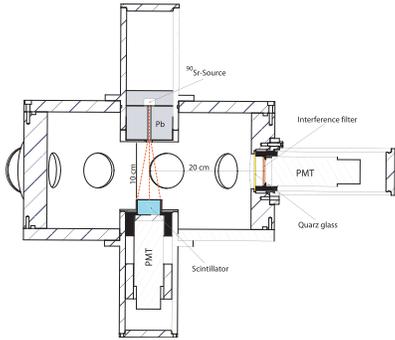
- Hauptbandensysteme im Stickstoffspektrum zwischen 300 nm und 400 nm:

$$\begin{aligned} \text{Zweites positives System } 2P(v', v'') &: C^3\Pi_u(v') \rightarrow B^3\Pi_g(v'') \quad , N_2 \\ \text{Erstes negatives System } 1N(v', v'') &: B^2\Sigma_u^+(v') \rightarrow X^2\Sigma_g^+(v'') \quad , N_2^+ \end{aligned}$$

- Überlagerung von Unterspektren desselben elektronischen Vibrationszustands v' .
- Gleiche Lebensdauern und feste Intensitätsverhältnisse innerhalb eines Unterspektrums.
- Intensivste Unterspektren der Übergänge $2P(0, v'')$, $2P(1, v'')$ und $1N(0, 0)$.
- Anzahl der angeregten Zustände v' pro deponierter Energie: $Y_{v'}$.

$$\Rightarrow Y_\gamma(p, T, E) \approx \sum_{v'=0,1} Y_{v'}^{2P}(E) \cdot \tau_{v'}^{2P}(p, T) \cdot \sum_{v''} A_{v',v''}^{2P} + Y_0^{1N}(E) \cdot \tau_0^{1N}(p, T) \cdot A_{0,0}^{1N} \quad (1)$$

Das AirLight Experiment

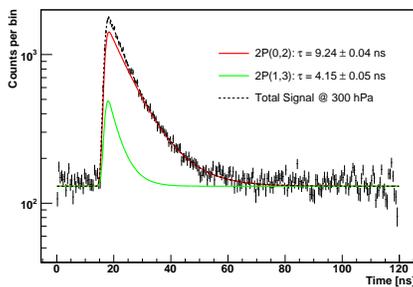


Stickstoff Fluoreszenzspektrum [2] (nicht kalibriert) mit den drei intensivsten Unterspektren. Die absoluten Effizienzen der verwendeten Filterkanäle sind ebenfalls eingezeichnet.

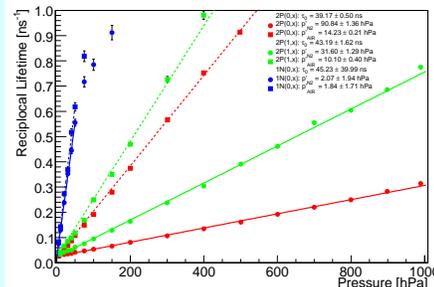
Technische Daten:

- Elektronenquelle: $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, 37 MBq
- Rate am Szintillator: 10 - 20 kHz
- Nutzbare Energien: 250 - 2000 keV
- Energieauflösung: $\sim 10\% \cdot \sqrt{\frac{MeV}{E}}$
- Filter: 1 M-UG6, 6 Interferenzfilter
- Geom. Akzeptanz pro PMT: 0,24 %
- Gas: N_2 , Luft, N_2+O_2 , $N_2 + H_2O$
- Temperatur: $\sim 20^\circ\text{C}$
- Druckbereich: 2 - 1000 hPa

Messung & Datenanalyse



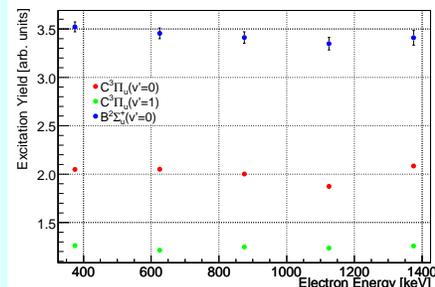
- Messung der Zeitdifferenzen zwischen Elektronen und Photonen.
- Separation des unkorrelierten Untergrunds als flachen Offset in den Differenzzeitspektren.
- Trennung der verschiedenen Komponenten innerhalb eines Filterkanals durch kombinierten Fit des Modells (1) über alle Zeitspektren.



- Reziproke Lebensdauern der angeregten Zustände v' verhalten sich linear mit dem Druck [1, 3]:

$$\frac{1}{\tau_{v'}(p, T)} = \frac{1}{\tau_{v'}(p=0, T)} \cdot \left(1 + \frac{p}{p'_{v'}}\right)$$

- Bei $p = p'_{v'}$ ist die strahlungslose gleich der fluoreszenten Übergangsrate.
- Unterschiedliches $p'_{v'}$ für unterschiedliche Luftzusammensetzung.



- Zahl der angeregten Zustände pro deponierter Energie unabhängig von Energie der Elektronen.
- 1N System wird stärker angeregt als 2P System, jedoch auch stärker strahlungslos abgeregt.

Zusammenfassung

- Fluoreszenzprozess kann unterteilt werden in unabhängige Anregungs- und Emissionsprozesse.
- Anregung der Stickstoffzustände ist proportional zur in der Luft deponierten Energie.
- Fluoreszenzemission wird mit zunehmendem Druck durch Quenchingeffekte reduziert. Alle Übergänge eines Unterspektrums werden dabei gleich stark unterdrückt.

Literatur

- [1] A.N. Bunner: Cosmic Ray Detection by Atmospheric Fluorescence. PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, New York (1967)
- [2] A. Ulrich: private Unterhaltung
- [3] M. Nagano et al.: Astropart. Phys. **20**, 293 (2003)
- [4] M. Risse, D. Heck: Astropart. Phys. **20**, 661 (2004)