

V01

# **Lebensdauer kosmischer Myonen**

Fritz Ali Agildere  
fritz.agildere@udo.edu

Jan Lucca Viola  
janlucca.viola@udo.edu

Durchführung: 2. Dezember 2024

Abgabe: ?? . Dezember 2024

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>1</b>
<b>3 Durchführung</b>	<b>1</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>2</b>
4.1 Verzögerungszeit .....	2
4.2 Kanalkalibration .....	3
4.3 Langzeitmessung .....	4
4.4 Hintergrundrate .....	5
<b>5 Diskussion</b>	<b>6</b>
<b>Literatur</b>	<b>6</b>
<b>Anhang</b>	<b>7</b>

## **1 Zielsetzung**

## **2 Theorie**

[1]

## **3 Durchführung**

## 4 Auswertung

Um die aufgenommenen Daten zu analysieren werden die Python [2] Pakete NumPy [3] und SciPy [4] verwendet, wobei Matplotlib [5] zum Erstellen von Grafiken und zudem Uncertainties [6] zur automatisierten Fehlerfortpflanzung in linearer Ordnung dienen.

Zunächst wird die Koinzidenzschaltung auf ihr zeitliches Auflösungsvermögen geprüft. Weiter muss den Kanälen des Vielkanalanalysators je eine Zeit zugeordnet werden, bevor mit der eigentlichen Langzeitmessung fortgefahren werden kann.

### 4.1 Verzögerungszeit

Der Verlauf der in Tabelle 1 gezeigten Messdaten wird in Abbildung 1 als Trapez mit Null als Asymptote genähert. Es ergeben sich

$$a = (13,5 \pm 0,8) \text{ ns}^{-1}$$

für die Steigung der linken Flanke sowie Knickpunkte

$$b = (-15,9 \pm 0,8) \text{ ns} ,$$

$$c = (5,6 \pm 1,1) \text{ ns} ,$$

$$d = (8,1 \pm 0,9) \text{ ns} ,$$

$$e = (22,2 \pm 0,5) \text{ ns} .$$

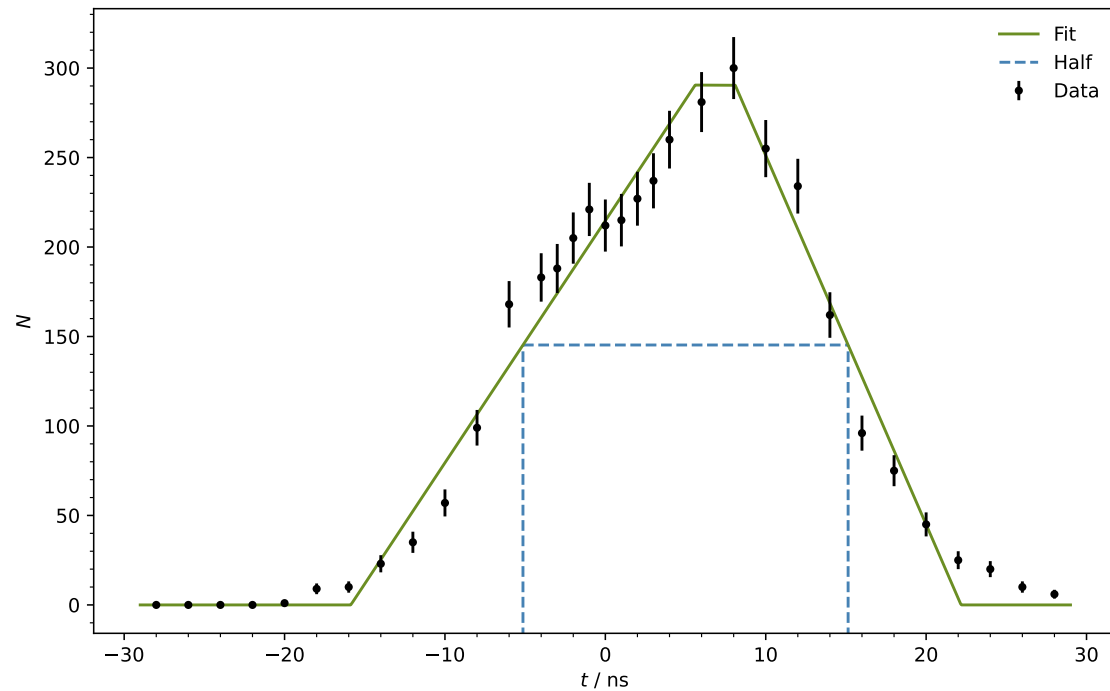


Abbildung 1: Gemessene Zählraten gegen die eingestellte Verzögerung.

Daraus lassen sich einige relevante Größen berechnen. Die maximale Zählrate lautet

$$N_{\text{Plateau}} = 291 \pm 25$$

im Bereich des Plateaus, welches eine Breite

$$T_{\text{Plateau}} = (2,5 \pm 1,4) \text{ ns}$$

aufweist. Die Hälfte dieses Maximums ist bei

$$t_{\text{links}} = (-5,1 \pm 0,7) \text{ ns} , \quad t_{\text{rechts}} = (15,1 \pm 0,5) \text{ ns}$$

erreicht. Damit folgt die Halbwertsbreite

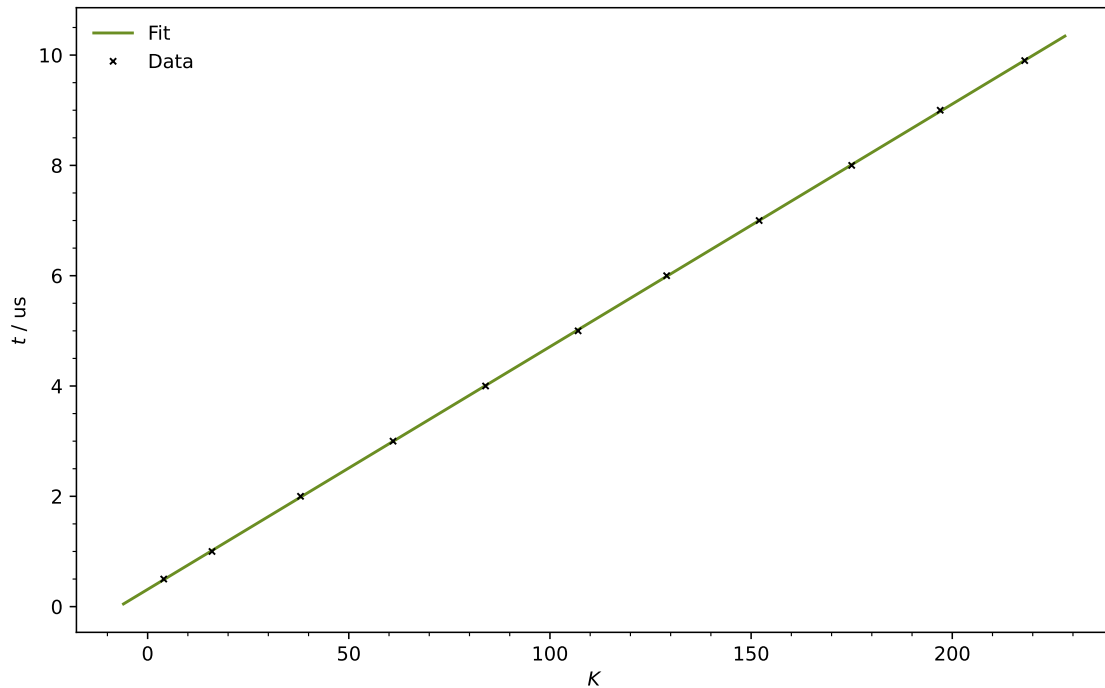
$$T_{\text{Hälfte}} = t_{\text{rechts}} - t_{\text{links}} = (20,3 \pm 0,8) \text{ ns}$$

und letztendlich eine Auflösungszeit

$$T_{\text{Auflösung}} = T_{\text{Hälfte}} - T_{\text{Plateau}} = (17,8 \pm 0,8) \text{ ns} .$$

## 4.2 Kanalkalibration

Es wird ein linearer Zusammenhang zwischen Kanalnummer  $K$  und der Zeit  $t$  angesetzt.



**Abbildung 2:** Beobachteter Zusammenhang zwischen Kanalnummer und Zeitskala.

Aus der entsprechenden Formel für die Ausgleichsrechnung

$$t(K) = AK + B$$

bestimmen sich die in Abbildung 2 verwendeten Parameter

$$A = (0,044\,00 \pm 0,000\,06) \, \mu\text{s} , \quad B = (0,313 \pm 0,008) \, \mu\text{s}$$

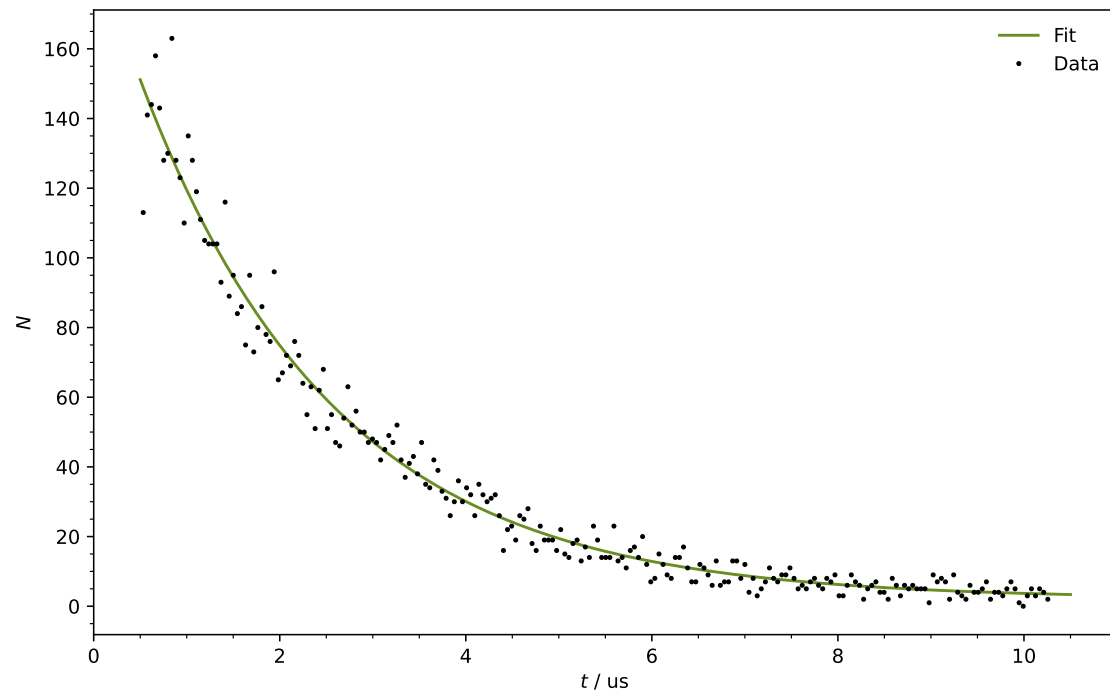
zur Umrechnung der Zeitskala aus dem Kanal. Diese Werte ergeben sich, indem an die Daten aus Tabelle 2 angepasst wird.

### 4.3 Langzeitmessung

Für die Messung der Zählrate  $N$  gegen die Zeitdifferenz  $t$  aus Tabelle 3 lässt sich

$$N(t) = m + ne^{-\lambda t}$$

als exponentieller Zusammenhang mit Normierung  $n$  ansetzen, der um  $m$  als Hintergrund verschoben ist. Aufgrund der beobachteten Streuung werden ausschließlich die Kanäle mit Indizes 4 bis 226 verwendet und in Abbildung 3 aufgetragen.



**Abbildung 3:** Daten aus der Langzeitmessung mit exponentieller Fitfunktion.

Die Werte der genannten Parameter lauten

$$m = 2,1 \pm 0,8 , \quad n = 189,3 \pm 2,8 .$$

Zusätzlich ergibt sich

$$\lambda = (0,48 \pm 0,01) \mu\text{s}^{-1}$$

als Zerfallskonstante und schließlich

$$\tau = (2,09 \pm 0,05) \mu\text{s}$$

für die Lebensdauer kosmischer Myonen, wobei  $2,197 \mu\text{s}$  den Literaturwert angibt [7].

#### 4.4 Hintergrundrate

Anhand der charakterisierenden Eigenschaften der Messreihe

$$\begin{aligned} T_{\text{such}} &= 10 \mu\text{s} , & T_{\text{mess}} &= 158\,234 \text{ s} , \\ N_{\text{start}} &= 4\,509\,112 , & N_{\text{stopp}} &= 17\,526 \end{aligned}$$

lässt sich ein Erwartungswert

$$\langle N \rangle = N_{\text{start}} \frac{T_{\text{such}}}{T_{\text{mess}}} = 0,000\,285$$

für die Zählrate innerhalb des Suchzeitintervalls aufstellen. Unter der Annahme einer für Zählexperimente gültigen Poissonverteilung

$$P_k = \frac{\langle N \rangle^k}{k!} e^{-\langle N \rangle}$$

folgt für die Wahrscheinlichkeit, dass genau ein weiteres Myon einfällt,

$$P_1 = 0,0285 \% .$$

Somit lässt sich die Anzahl zusätzlicher Pulse zu

$$O_1 = P_1 N_{\text{start}} = 1285$$

abschätzen, welche sich homogen über 512 Kanäle verteilen. Pro Kanal gilt demnach

$$M = 2,5$$

als Hintergrundrate, die mit dem Wert  $n = 2,1 \pm 0,8$  aus dem vorherigen Vorgehen verglichen werden kann.

## 5 Diskussion

$$t_{\text{optimal}} = (6,8 \pm 0,7) \text{ ns}$$

## Literatur

- [1] *V01, Lebensdauer kosmischer Myonen*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2024.
- [2] *Python*. Version 3.11.0. 24. Okt. 2022. URL: <https://www.python.org>.
- [3] Charles R. Harris u. a. „Array programming with NumPy“. In: *Nature* 585.7825 (Sep. 2020), S. 357–362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2. URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>.
- [4] Pauli Virtanen u. a. „SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python“. Version 1.9.3. In: *Nature Methods* 17 (2020), S. 261–272. DOI: 10.1038/s41592-019-0686-2.
- [5] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. DOI: 10.1109/MCSE.2007.55. URL: <http://matplotlib.org/>. Current version 3.6.2, DOI: 10.5281/zenodo.7275322.
- [6] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [7] V. Tishchenko u. a. In: *Physical Review D* 87.5 (März 2013). ISSN: 1550-2368. DOI: 10.1103/PhysRevD.87.052003. arXiv: 1211.0960 [hep-ex].



## Anhang

**Tabelle 1:** Messwerte zu Verzögerungszeit und Zählrate.

$t$ / ns	$N$
−28	0
−26	0
−24	0
−22	0
−20	1
−18	9
−16	10
−14	23
−12	35
−10	57
−8	99
−6	168
−4	183
−3	188
−2	205
−1	221
0	212
1	215
2	227
3	237
4	260
6	281
8	300
10	255
12	234
14	162
16	96
18	75
20	45
22	25
24	20
26	10
28	6

**Tabelle 2:** Messwerte zu Kanalindex und Zeitintervall.

$K$	$t / \mu\text{s}$
4	0,5
16	1,0
38	2,0
61	3,0
84	4,0
107	5,0
129	6,0
152	7,0
175	8,0
197	9,0
218	9,9

**Tabelle 3:** Zählraten sortiert nach unten und rechts mit aufsteigender Kanalnummer.

$N$															
0	80	49	26	7	9	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0
0	86	47	25	8	9	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
0	78	52	28	15	11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	76	42	18	12	8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	96	37	16	9	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
141	65	41	23	8	6	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144	67	43	19	14	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
158	72	38	19	14	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
143	69	47	19	17	8	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
128	76	35	16	11	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	72	34	22	7	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
163	64	42	15	7	8	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	55	39	14	12	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	63	33	18	11	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	51	31	19	9	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
135	62	26	13	6	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	68	30	17	13	6	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	51	36	14	6	9	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	55	30	23	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	47	34	19	7	6	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	46	32	14	13	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	54	26	14	13	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	63	35	14	8	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
93	52	32	23	12	7	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	56	30	13	4	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
89	50	31	14	8	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	50	32	11	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
84	47	26	16	5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
86	48	16	17	7	6	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0
75	47	22	14	11	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	42	23	20	8	6	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
73	45	19	12	7	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0