

UNIVERSITÄT ZU KÖLN

MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE FAKULTÄT



PRAKTIKUM B

B3.4

Positronen–Emissions–Tomografie

CATHERINE TRAN
CARLO KLEEFISCH
OLIVER FILLA

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	PET	4
2.2	β -Zerfall	4
2.3	Paarvernichtung	4
2.4	γ -Strahlung	5
2.5	Szintillatoren und Photomultiplier	5
3	Durchführung	6
4	Auswertung	7
5	Fazit	8
6	Literatur	9

1 Einleitung

Die Positronen–Emissions–Tomografie (PET) ist ein nuklearmedizinisches bildgebendes Verfahren, bei denen radioaktive Materialien als *Tracer* verabreicht werden, die dann im Körper des Patienten gemessen werden. Dadurch können Bilder von z.B. Krebszellen erzeugt werden.

In diesem Versuch wird eine radioaktive Quelle in einer Probe mittels der PET lokalisiert. Weiterhin wird die Ortsauflösung sowie die Winkelabhängigkeit untersucht.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 PET

2.2 β -Zerfall

Der β -Zerfall ist eine der drei Arten radioaktiven Zerfalls. Wie beim α -Zerfall wird dabei ein chemisches Element in ein anderes umgewandelt. Im Unterschied zum α -Zerfall werden hierbei keine Nukleonen abgesondert, sondern ein Nukleon in ein anderes umgewandelt.

Es wird zwischen drei Arten des β -Zerfalls unterschieden. Es gibt β^+ -Zerfall und β^- -Zerfall, weiterhin wird der Elektroneneinfang dazugezählt.

Radioaktiver Zerfall geschieht, wenn der Tochterkern eine höhere Bindungsenergie als der Mutterkern erhält. Hierfür ist insbesondere der Symmetrieterm der Weizsäcker Massenformel (??) interessant. Daran kann man erklären, dass β^- -Zerfall dann geschehen kann, wenn der Kern mehr Neutronen als Protonen hat.

Umgekehrt kann es zu β^+ -Zerfall kommen, wenn der Kern mehr Protonen als Neutronen hat. Ebenso ist Elektroneneinfang möglich. Welcher dieser Prozesse stattfindet hängt von der Energiedifferenz zwischen Mutterkern und Tochterkern ab: Wenn die Energiedifferenz kleiner als $\Delta E_{\min} = 1.022\text{MeV}$ beträgt, dann reicht die Energie nur für Elektroneneinfang. Bei einer Energie von mehr als ΔE_{\min} ist auch β^+ -Zerfall möglich. ΔE_{\min} entspricht der doppelten Ruheenergie von Elektronen.

Beim β^+ -Zerfall wird ein Proton p in ein Neutron n umgewandelt, dabei entstehen ein Positron e^+ sowie ein Elektronenneutrino ν_e . Hierbei wird ein Mutterkern ${}_Z^AX$ in einen Tochterkern ${}_{Z-1}^AY^-$ umgewandelt. Beim β^- -Zerfall wird ein Neutron n in ein Proton p umgewandelt, dabei entstehen ein Positron e^+ sowie ein Anti-Elektronenneutrino $\bar{\nu}_e$. Hierbei wird ein Mutterkern ${}_Z^AX$ in einen Tochterkern ${}_{Z+1}^AY^+$ umgewandelt.

Beim Elektroneneinfang (ec) wird ähnlich wie beim β^+ -Zerfall ein Proton p in ein Neutron n umgewandelt. Allerdings wird dazu ein Elektron e^- verwendet, dass aus der K -Schale des Atoms eingefangen wurde. Daher wird nur ein Elektronenneutrino ν_e erzeugt. Hierbei wird ein Mutterkern ${}_Z^AX$ in einen Tochterkern ${}_{Z-1}^AY$ umgewandelt.

$$\beta^+ : \quad p \longrightarrow n + e^+ + \nu_e \quad (2.1)$$

$${}_Z^AX \longrightarrow {}_{Z-1}^AY^- + e^+ + \nu_e \quad (2.2)$$

$$\beta^- : \quad n \longrightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad (2.3)$$

$${}_Z^AX \longrightarrow {}_{Z+1}^AY^+ + e^- + \bar{\nu}_e \quad (2.4)$$

$$\text{ec} : \quad p + e^- \longrightarrow n + \nu_e \quad (2.5)$$

$${}_Z^AX \longrightarrow {}_{Z-1}^AY + \nu_e \quad (2.6)$$

2.3 Paarvernichtung

Der Begriff der Paarvernichtung beschreibt die Zerstrahlung von einem Teilchen und seinem Antiteilchen, bei der die Teilchen in γ -Strahlung umgewandelt werden. Die En-

ergie der Strahlung ist die Summe der kinetischen Energie dieser Teilchen sowie ihrer Ruhemassen. Die Paarerzeugung ist der dazu inverse Effekt. [5]

Bei der Vernichtung eines Positrons e^+ mit einem Elektron e^- entstehen normalerweise zwei γ -Quanten in einem Winkel θ . Dieser hängt von der transversalen Impulskomponente p_T ab. Weiterhin sind die Ruhemasse m_e der Teilchen und die Lichtgeschwindigkeit c relevant. [6]

$$\tan(\theta) = \frac{p_T}{m_e c} \quad (2.7)$$

Sind die beiden Teilchen in Ruhe zueinander, so ist der Abstrahlwinkel der γ -Quanten 180° . Haben sie einen relativen Impuls, so wird der Winkel kleiner. Sind die Teilchen jedoch zu schnell, dann ist der Wirkungsquerschnitt sehr klein und es ist sehr unwahrscheinlich, dass Paarvernichtung stattfindet.

2.4 γ -Strahlung

...

2.5 Szintillatoren und Photomultiplier

3 Durchführung

4 Auswertung

5 Fazit

6 Literatur

1. Universität zu Köln, “B3.4: Positronen–Emissions–Tomografie”, Januar 2021, Online verfügbar unter https://www.ikp.uni-koeln.de/fileadmin/data/praktikum/B3.4_PET_de.pdf
2. “Chart of Nuclides”, National Nuclear Data Center, <https://www.nndc.bnl.gov/nudat3>, Abruf am 28.03.2024
3. “Positronen Emissions Tomographie”, Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V., Online verfügbar unter http://www.nuklearmedizin.de/docs/pet_bro_06.pdf, Abruf am 03.04.2024
4. W. Demtröder, “Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik”, Springer–Spektrum–Verlag, 2017, DOI: 10.1007/978-3-662-52884-6
5. Lexikon der Physik, “Paarvernichtung”, <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/paarvernichtung/10838>, Abruf am 04.04.2024
6. Wikipedia, “Annihilation”, <https://de.wikipedia.org/wiki/Annihilation>, Abruf am 04.04.2024