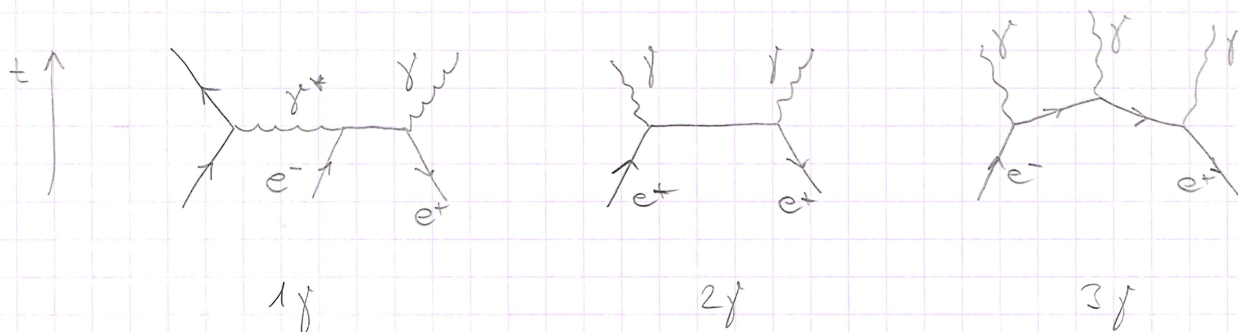


Lebensdauer von Positronen im Festkörper

1

e^+e^- Zerfallsmöglichkeiten

3 Möglichkeiten



(nur möglich, wenn ein Partner ein Restimpuls aufnimmt) \rightarrow spielt üblicherweise keine Rolle

Aus der HQ lassen sich die Lebensdauern bestimmen.

Wahrscheinlichkeit der Annihilation γ -Lebensd.

e^- -Dichte

$$\lambda_c = \frac{\lambda_c}{2\pi}$$

$$\lambda_c = h/mc$$

Großzahligkeit e^-

2γ

$$\frac{1}{\tau_{2\gamma}} = \lambda_{2\gamma} = 4 \sigma_{2\gamma} n_e \cdot v = 4 \pi \alpha^2 \lambda_c^2 \cdot c \cdot n_e$$

nicht-lebend

4 mögliche Spinzustände

vor den = Linienziehen

$$\sigma_{2\gamma} \approx \frac{\pi \alpha^2 \lambda_c^2}{\beta}$$

nicht-rel. Näherung

$$\tau_{2\gamma} \propto \frac{1}{n_e} \text{ und unabhängig von Geschw. } v!$$

3γ

Nicht-rel. Näherung (QED) gemittelt über alle möglichen Spin- und Polarisationsrichtungen.

$$\sigma_{3\gamma} = \frac{4}{3} \frac{\alpha^3 \lambda_c^2}{\beta} (\pi^2 - 9)$$

Spinrichtungsfaktor

$$\Rightarrow \frac{1}{\tau_{3\gamma}} = \lambda_{3\gamma} = \frac{4}{3} \sigma_{3\gamma} \cdot n_e \cdot v = \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \alpha^3 \lambda_c^2 c n_e (\pi^2 - 9)$$

[HA: Um wieviel ist 3γ unwahrscheinlicher als 2γ? (\rightarrow s.o.)]

Auswahlregeln für den e^+e^- Zerfall

(in wie viele γ zerfällt die Anker Positronium?)

Zerfall variiert aus Quantenzustand mit bestimmten Symmetrie-Eigenschaft.

(ein W \Rightarrow alle Erhaltungssätze gelten)

\hookrightarrow Forderung nach Auswahlregeln)

Grundzustände

- Parapositronium $\uparrow\downarrow$ 1S_0 Singulett $2S+1$
- Orthopositronium $\uparrow\uparrow$ 3S_1 Triplett $L=0$

Photonen

$j=1$ mit $j_3 = \pm 1$ (0 nicht erlaubt)

$\Rightarrow 2\gamma$ können nicht zu $J=1$ koppeln

$\Rightarrow ^3S_1(e^+e^-) \rightarrow 2\gamma$ \nrightarrow verboten
(Triplettzustand)

- weitere Symmetrie: (Ladungs)parität C

☉ C für Fermion-Antifermion-Paar

$$C = P_i P_e P_s$$

$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$
innere Raum Spin Paritäten

$$P_i(e^+e^-) = 1 \cdot (-1) = -1 \quad (\text{Fermion-Antifermion-Paar})$$

$$P_e(e^+e^-) = (-1)^L \quad (L: \text{Bahndrehimpuls } QZ)$$

$$P_s(e^+e^-) \quad (\text{aus Tabelle mit Clebsch-Gordan-Koeff.})$$

$$P_s = (-1)^{S+1} \quad S = \begin{cases} 0 & \text{Singulett} \\ 1 & \text{Triplett} \end{cases}$$

$$\hookrightarrow \boxed{C = (-1)^{L+S}} \quad (\text{für } e^+e^- \text{ Paar})$$

$C = 1$ Singlett in Grundzustand
 $C = -1$ Triplett "

• Photonen: $C = -1$

$C_n = (-1)^n$ für n Photonen

EM WW (C ist Erleichterungsgröße!)

$\Rightarrow \quad {}^1S_0 (e^+e^-) \rightarrow \gamma\gamma \quad {}^3S_1 (e^+e^-) \rightarrow \gamma\gamma\gamma$
 $\quad \quad \quad +1 \quad \quad \quad (-1)(-1) \quad \quad \quad -1 \quad \quad \quad (-1)(-1)(-1)$

Singlett ist gerade Zahl γ / Triplett ist ungerade Zahl.

hoch QED ist Zerfall in mehr γ mit jeweils α unterdrückt

$\Rightarrow \quad \begin{matrix} {}^1S \rightarrow 2\gamma \\ {}^3S_1 \rightarrow 3\gamma \end{matrix}$

jetzt im Festkörper!

Positroniumzustände in Materie

e^+e^- Lebensdauernspektrum könnte je nach Medium aus mehreren Komponenten bestehen.

- spontane Zerfall in 2γ oder 3γ
- Bildung von gebundenen Singlett- oder Triplett Zuständen \rightarrow Lebensdauer hier stark abhängig von Festkörperstruktur

Singlett = Parapos.

Triplett = Orthopos.

Lebensdauer messung ist interessant in der Festkörperphysik

- Wann ist die Bildung von Positronium ^{im Festkörper} möglich?

Aufenergie der e^+ muss in einem solchen Energieband liegen. (DRE - der Theorie)

Bedingungen

$$1) \quad E_{\text{mit}} = E_i - |E_B|$$

↓
mit. Energie
da e^+

↓
Ionisierungs-
energie eines
Moleküls im
Medium

↓
 $= -6,8 \text{ eV}$
(Bindungsenergie
des Pos.)

d.h. da Positron nur zusammen mit der fehlenden
Bindungsenergie seiner Energie haben, da es
ein Molekül ionisiert und das e^- einfängt

$$2) \quad E_i - |E_B| < E < E_e$$

↑
Energie muss kleiner als erster Anregungszustand des
seien des Moleküls

! Anregung ist sehr viel wahrscheinlicher
als Positronium-Bildung

Übergang
zum Festkörper

Im Festkörper können jetzt noch Affinitäten dazu:

$$(E_i + Q_p) - (BE + Q_{\text{Pos}}) < E < E_e$$

Aff. des Kristalls
für e^+

Bind. Energie Positronium in FK!
(kann $< R_p/2$ sein)

Aff. des Kristalls
für (e^-)

Anregungsenergie
in erster
unbesetzten
Zustand

an Kristall-
verbund

Vol.

|||||

Berücksichtigt man die e^- -Affinität $Q_e = E_i - E_e$

⇒ Bedingung für Existenz der Pos-ger im Festkörper

$$\parallel \quad Q_e + Q_p < Q_{\text{Pos}} + BE$$

ausdrücklich: Positroniumbildung verboten, wenn
 e^+ , e^- Affinitäten zu groß sind

z.B. in Metallen: wegen hoher e^- Dichte im Leitungsband
ist $BE < 6,8 \text{ eV}$

Konversion $3S_1 \rightarrow 1S_0$

③

(ist Zuerstbefund)

Ist Porichon-Bildung möglich erlaubt (in st. Mittel)

25% Singletts
75% Triplett (3-fach Entartung)

Der Lebensdauerphoton wird durch 3 Anteile bestimmt:

1) spontane Zerfall von e^+ ohne Porichon zu bilden.
überwiegend in 2f (v.o.)

2) Zerfall des Singletts $1S_0$ kurze Lebensdauer

3) " " Triplett $3S_1$ lange " }

(Aufgabe in Vorbereitung!)

aber

Triplett zerfällt erheblich schneller als erwartet.

(je nach Festkörperlumineszenz)

schnelle Konversion $3S_1 \rightarrow 1S_0$ möglich

2 Mechanismen sind verantwortlich.

1) e^- Transfer: hier e^- nimmt mit e^+ den energetisch günstigeren $1S_0$ ein

2) Sprüfler durch mögl. WW bei einem Stoß

