

## Strahlenbelastung bei der Inbetriebsetzung des Chicago-Pile 1

### Bekannte Parameter:

|   |        |     |
|---|--------|-----|
| Durchmesser   | 7,4    | m   |
| Höhe  | 6,2    | m   |
| Betriebsdauer während des ersten Kritikalitätsexperiments | 4,5    | min |
| Leistung während des ersten Kritikalitätssexperiments     | 0,5    | W   |
| Maximale Leistung   | 200    | W   |
| Multiplikationsfaktor                                     | 1,0006 |     |

Die Betriebsdauer von 4,5 min ist die Zeit vom Moment, in dem der Reaktor kritisch wurde, bis zum Moment, in dem er abgeschaltet wurde.

Es ist nicht eindeutig klar, ob mit der Leistung von 0,5 W die maximale Leistung am Ende des Experiments oder die mittlere Leistung während des Experiments gemeint ist.

### Neutronenfluss

Für die Zahl der Spaltungen pro Zeiteinheit ergibt sich

$$\dot{z} = \frac{P}{E_s} . \quad (1)$$

Dabei bedeutet  $E_s$  die pro Spaltung netto freigesetzte Energie und  $P$  die thermische Reaktorleistung.

Bei der Spaltung eines  $^{235}\text{U}$ -Kerns wird eine Energie von etwa  $204 \text{ MeV}^1$  frei. 12 MeV gehen in Form von Antineutrinostrahlung verloren, da Neutrinos und Antineutrinos in Materie praktisch nicht absorbiert werden und deshalb auch ihre Energie nicht abgeben können. Bei der Spaltung von  $^{235}\text{U}$  werden im Mittel 2,4 Neutronen frei. Wenn der Reaktor kritisch oder schwach überkritisch ist, wird im Durchschnitt ein Neutron wieder eine Spaltung auslösen. Die anderen 1,4 Neutronen werden entweder absorbiert oder entweichen aus dem Reaktor. Bei der Absorption eines Neutron wird seine Bindungsenergie von etwa 8 MeV frei. Total produziert somit eine Spaltung eine thermische Energie von rund 200 MeV.

Es ist also

$$\dot{z} = \frac{0,5}{200 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,56 \cdot 10^{10} \quad \dot{z} = 1,56 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} . \quad (2)$$

Pro Spaltung sind also im Mittel 1,4 Neutronen nicht an der Fortsetzung der Kettenreaktion beteiligt. Es können daher maximal 1,4 Neutronen pro Spaltung entweichen. Die maximale Zahl der pro Zeiteinheit aus dem Reaktor entweichenden Neutronen ist somit

$$\dot{n} = 1,4 \cdot \dot{z} = 1,4 \cdot 1,56 \cdot 10^{10} = 2,19 \cdot 10^{10} \quad \dot{n} = 2,19 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1} . \quad (3)$$

Auf einer Abbildung ist ersichtlich, dass die Plattform, auf der die drei Physiker mit der Kadmiumsulfatlösung bereitstanden, sich am Rande seitlich über dem Reaktor befand. Ihr Abstand vom Reaktorzentrum war somit gegeben durch

$$r = \sqrt{3,7^2 + 3,1^2} = 4,83 \quad r = 4,8 \text{ m} . \quad (4)$$

<sup>1</sup>  $\text{MeV} = 10^6 \text{ eV}$ .  $1 \text{ eV} = 1$  Elektronenvolt ist die Energie, die frei wird, wenn ein Teilchen mit einer Elementarladung (z.B. ein Elektron) eine Spannungsdifferenz von 1 Volt durchläuft. Es gilt:  $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$ .

Die Neutronenabstrahlung des Reaktors kann in guter Näherung als isotrop vorausgesetzt werden. Der Neutronenfluss im Abstand  $r$  ist daher

$$\Phi = \frac{\dot{n}}{4\pi r^2}. \quad (5)$$

Es ergibt sich

$$\Phi = \frac{2,19 \cdot 10^{10}}{4\pi 4,8^2} = 7,56 \cdot 10^7 \quad \Phi = 7,6 \cdot 10^7 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1} = 7,6 \cdot 10^3 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}. \quad (6)$$

Für thermische Neutronen gilt die Beziehung

$$2 \cdot 10^2 \frac{\text{Neutronen}}{\text{cm}^2 \text{ s}} \longrightarrow 1 \frac{\text{mrem}}{\text{h}}. \quad (7)$$

## Strahlendosis

Somit ergibt sich schliesslich für die Strahlungsdosisleistung:

$$\dot{D} = \frac{7,56 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^2} = 37,8 \quad \dot{D} = 38 \frac{\text{mrem}}{\text{h}}. \quad (8)$$

Die total akkumulierte Dosis ist

$$D = \int_0^T \dot{D} dt = \bar{D} \cdot T < \dot{D}_{max} \cdot T, \quad (9)$$

also

$$D \leq \frac{37,8 \cdot 4,5}{60} = 2,84 \quad \boxed{D \leq 2,8 \text{ mrem}.} \quad (10)$$

Falls die Leistung von 0,5 Watt die maximale Leistung während des Experiments bedeutet, ist

$$\bar{D} < D_{max} = 38 \frac{\text{mrem}}{\text{h}} \quad (11)$$

und

$$\boxed{D < 2,8 \text{ mrem}.} \quad (12)$$

Wenn dagegen die Leistung von 0,5 Watt die mittlere Leistung während des Experiments war, gilt

$$\bar{D} = 38 \frac{\text{mrem}}{\text{h}} \quad (13)$$

und

$$\boxed{D = 2,8 \text{ mrem}.} \quad (14)$$

Dieser Wert ist jedoch immer noch eine obere Grenze für die akkumulierte Dosis, da in Wirklichkeit nicht 1,4 Neutronen pro Spaltung aus dem Reaktor entweichen, sondern ein beträchtlicher Teil der Neutronen im Reaktor absorbiert wird.

Wenn der Reaktor mit der maximalen Leistung von 200 Watt betrieben worden wäre, hätte sich auf der Plattform eine Dosisleistung ergeben von höchstens

$$\dot{D} = \frac{200}{0,5} 38 = 15200 \quad \dot{D} = 15000 \frac{\text{mrem}}{\text{h}} = 15 \frac{\text{rem}}{\text{h}}. \quad (15)$$