

Interner Bericht

DESY-D3-72

August 1992

Überwachung der Neutronenfluenz in einem Beschleunigerraum

K. Tesch

Eigentum der Property of	DESY	Bibliothek library
Zugang: Accessions:	05. OKT. 1992	
Leihfrist: Loan period:	7	Tage days

DESY behält sich alle Rechte für den Fall der Schutzrechtserteilung und für die wirtschaftliche Verwertung der in diesem Bericht enthaltenen Informationen vor.

DESY reserves all rights for commercial use of information included in this report, especially in case of filing application for or grant of patents.

**“Die Verantwortung für den Inhalt dieses
Internen Berichtes liegt ausschließlich beim Verfasser”**

Interner Bericht
DESY-D3-72
August 1992

Überwachung der Neutronenfluenz
in einem Beschleunigerraum

K. Tesch

Deutsches Elektronensynchrotron DESY,
D-2000 Hamburg 52, Notkestr. 85

Summary: Neutrons produced in an accelerator room in energy range from 0.1 MeV to about 100 MeV are a potential hazard to electronic equipment. They can be measured over long time periods by a polyethylene moderator 18 cm \varnothing x 18 cm and a ^{59}Co detektor for thermal neutrons. The minimum detectable neutron fluence is $1.5 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-2}$.

1. Einleitung

In Beschleunigerräumen ist gelegentlich Elektronik untergebracht, die durch Streustrahlung geschädigt werden kann. Zur Überwachung von Strahlenschäden z.B. in Silizium werden häufig Glasdosimeter eingesetzt, mit denen in einem sehr weiten Meßbereich von $0,1-10^7$ Gy (Lit. 1) die Dosis in Glas durch ionisierende Teilchen gemessen werden kann. Im Falle von Neutronen, bei denen die schädigende Wirkung eher auf der Erzeugung von Versetzungen im Kristallgitter beruht, ist die auftreffende Fluenz der Neutronen ein besseres Maß für den Strahlenschaden als die Dosis in Glas. Als Grenzwert gilt etwa 10^{13} cm^{-2} , oberhalb dem ein integrierter Baustein unbrauchbar wird. Die Erzeugung von Versetzungen hat eine ausgeprägte Schwelle bei einer Neutronenenergie von 0,15 MeV und ist oberhalb der Schwelle ungefähr energieunabhängig (Lit. 2). Das im Tunnel eines hochenergetischen Protonenbeschleunigers anzutreffende Neutronenspektrum ist in Abb. 1 dargestellt (Lit. 3).

Ein im Tunnel zu stationierender Festkörperdetektor zur Messung der Neutronenfluenz sollte also folgende Eigenschaften haben:

- a) Empfindlichkeitsbereich 0,1–100 MeV
- b) Kleinste meßbare Fluenz mindestens 10^{10} cm^{-2} .
- c) Sehr lange Exponierungszeiten.

Ein einfacher Detektor mit den genannten Eigenschaften wird im folgenden beschrieben.

2. Detektor

Der Detektor besteht aus einem Polyäthylen-Zylinder $18 \text{ cm } \varnothing \times 18 \text{ cm}$ als Moderator und einem Kobaltblech $3 \times 3 \times 0,2 \text{ cm}^3$ in seiner Mitte zum Nachweis thermischer Neutronen. Das Zylindervolumen ist gleich dem Volumen einer 8"-Kugel. Damit ist die relative Empfindlichkeit der Anordnung gegenüber Neutronen in Abhängigkeit von der Neutronenenergie bekannt (Lit. 4), sie ist in Abb. 2 wiedergegeben. Thermische und epithermische Neutronen erzeugen in Kobalt mit einer (n, γ) Reaktion den Kern ^{60}Co , dessen γ -Strahlung (1,17 MeV; 100% und 1,33 MeV; 100%) mittels γ -Spektroskopie besonders einfach zu messen ist. Seine Halbwertszeit ist 5,26 a. Die Abhängigkeit der Aktivität eines Kobaltplättchens im Moderator von seiner Dicke bei gegebener Neutronenfluenz zeigt Abb. 3; daraufhin wurde eine Dicke von 0,2 cm gewählt.

Die Flußdichte sehr niederenergetischer Neutronen in einem Beschleunigerraum ist nicht gut bekannt, ist aber klein gegenüber der im MeV-Bereich, siehe Abb. 1. Dennoch ist der Zylinder mit 0,5 mm starkem Kadmiumblech ummantelt, um Neutronen unterhalb von 1 eV zu absorbieren. Die Abschwächung beträgt $1 \cdot 10^{-3}$ für Neutronenenergien kleiner als 0,2 eV. Bei der Energie von 1 eV ist der Einfangwirkungsquerschnitt von Kobalt von 40 b (bei thermischer Energie) bereits auf 6 b abgefallen. Eine fehlerhafte Aktivierung durch von außen einfallende epithermische Neutronen wird vermieden.

3. Kalibrierung

Die in Abb. 2 gezeigte Empfindlichkeitskurve einer mit Kadmium ummantelten 8"-Kugel aus Lit. 4 ist gegeben als Zahl der Pulse eines im Mittelpunkt befindlichen ${}^6\text{LiJ}$ -Szintillators (4 mm \varnothing x 4 mm) pro Neutronenfluenz 1 cm^{-2} . In Hinblick auf das in einem Beschleuniger-raum zu erwartende Spektrum nehmen wir eine mittlere Empfindlichkeit von 0,2 Pulse/(n/cm²) an. Diese Kugel (und Moderatoren anderer Größe) haben wir mit ${}^6\text{LiF}$ -Thermolumineszenzdosimetern ausgestattet, um in stark gepulsten Neutronenfeldern das Neutronenspektrum zu messen (Lit. 5). Die Meßgröße ist dann ein TL-Signal, dessen Größe in Dosis einer ${}^{137}\text{Cs}$ - γ -Strahlung angegeben werden kann. Mit Hilfe einer AmBe-Neutronenquelle, deren Spektrum bekannt ist, wurde in praktisch rückstreuungsfreier Umgebung die Kugel umkalibriert, es ergab sich ein Umrechnungsfaktor von $2,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{Sv/Puls}$, womit wir eine Empfindlichkeit der Kugel von $4,4 \cdot 10^{-4} \mu\text{Sv cm}^2$ erhalten.

Nachdem die absolute Empfindlichkeit der mit einem TL-Dosimeter ausgestatteten Kugel bekannt ist, können wir mit einer beliebigen Neutronenquelle die Empfindlichkeit der Anordnung mit Kobalt bestimmen. Die Aktivität des Kobalts wird mit einem empfindlichen Halbleiterzähler bestimmt (Lit. 6); wir erhielten das Verhältnis $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ Bq}/\mu\text{Sv}$. Im Energiebereich, in dem die Wirkungsquerschnitte groß sind ($E_n < 10 \text{ eV}$), ist das Verhältnis der Wirkungsquerschnitte von ${}^6\text{Li}(n, t)\alpha$ und ${}^{59}\text{Co}(n, \gamma) {}^{60}\text{Co}$ konstant, daher ist das Ergebnis nahezu unabhängig von der Energieverteilung niederenergetischer Neutronen in der Kugel, welche ihrerseits vom äußeren Neutronenfeld abhängen kann. Man erhält damit zwischen einer zeitlich konstanten Neutronenfluenz $F \text{ (cm}^{-2}\text{)}$ und der Aktivität des Kobalts (Bq) die Beziehung

$$F = 1,2 \cdot 10^8 A.$$

4. Grenzen der Meßmethode

Die Anpassung der Empfindlichkeit des Detektors (Abb. 2) an das (gerechnete) Neutronenspektrum im Tunnel (Abb. 1) und an das Meßproblem ist nicht perfekt. Im wichtigsten Energiebereich 0,1-10 MeV kann die Empfindlichkeit als konstant angenommen werden; jedoch tragen auch Neutronen unter 0,1 MeV zur Aktivität des Kobalt bei, die keine Strahlenschäden verursachen. Der geringe Anteil von Neutronen oberhalb von 30 MeV wird nicht gemessen.

Die kleinste meßbare Neutronenfluenz wird durch den Untergrund der γ -Spektroskopie gegeben. Wir verwenden einen Germanium-Halbleiterzähler mit einem Volumen von 68 cm^3 und einer Empfindlichkeit von 17,8% für ${}^{60}\text{Co}$, allseitig abgeschirmt mit 5 cm Blei; die Kobalt-Probe wird auf das Fenster gelegt. Für diese Geometrie ergibt 1 Bq eine Zählrate von $0,012 \text{ s}^{-1}$ (1332-keV-peak). Der Untergrund in diesem Bereich ist $0,008 \text{ s}^{-1}$. Nimmt man als kleinste verwendbare Nettoimpulszahl die dreifache Standardabweichung des Untergrunds und eine maximale Meßzeit von 8 h an, ergibt sich die kleinste meßbare Fluenz zu etwa $1,5 \cdot 10^7 \text{ cm}^{-2}$.

Die maximale Exponierungszeit des Detektors in einem Beschleunigerraum kann man durch folgende Forderungen bestimmen:

- a) Bei konstanter Flußdichte soll die Abweichung von der Linearität zwischen Fluenz und Aktivität kleiner als etwa 20% sein.
- b) Bei zeitlich schwankender Flußdichte ist der Fehler am größten, wenn die Aktivierung am Anfang der Aktivierungszeit erfolgte; der Verlust an Aktivität soll dann nicht größer als 30% sein. Aus beiden ergibt sich eine maximale Exponierzeit von etwa 2 Jahren.

5. Literatur

1. K. Tesch, Rad. Prot. Dosimetry 6 (1984) 347
2. T.A. Gabriel et al., SSC-110 (1987)
3. K. Tesch, J.M. Zazula, DESY HERA-90-18 (1990)
4. A.V. Alevra, B.R.L. Siebert, Phys. Techn. Bundesanstalt PTB-ND-28 (1986)
5. H. Dinter, K. Tesch, Radiation Protection Dosimetry 42 (1992) 5
6. B. Racky, Laborbericht DESY D3-74 (1992).

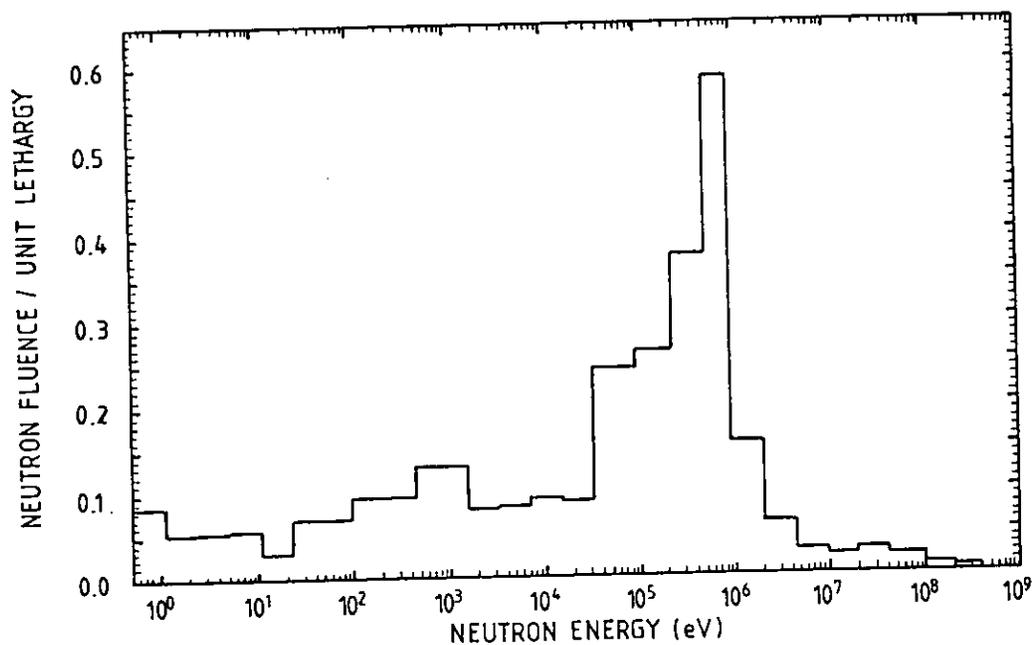


Abb. 1 Berechnetes Fluenz-Spektrum von Neutronen im Tunnel eines 800-GeV-Protonenbeschleunigers, normiert auf 1 cm^{-2} (aus Lit. 3).

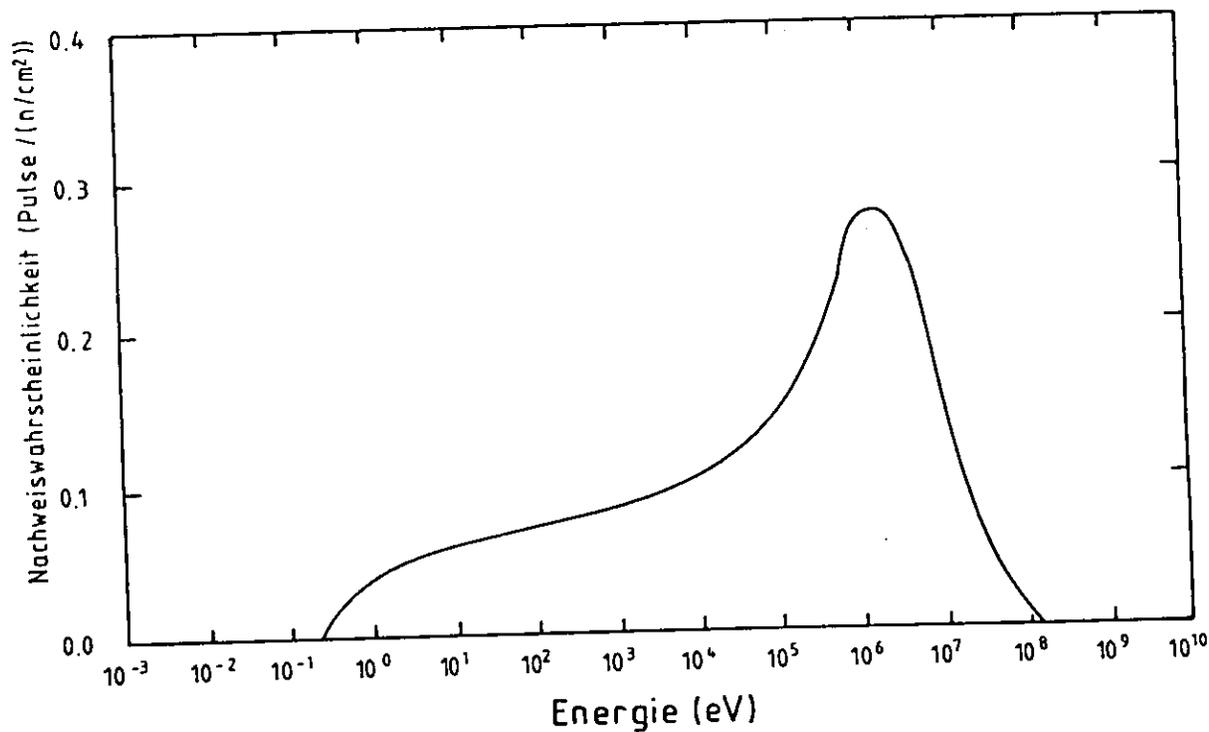


Abb. 2 Empfindlichkeit einer Cd-ummantelten 8"-Kugel mit einem ${}^6\text{LiJ}$ -Szintillator (4 mm ϕ x 4 mm) in der Mitte (aus Lit. 4).

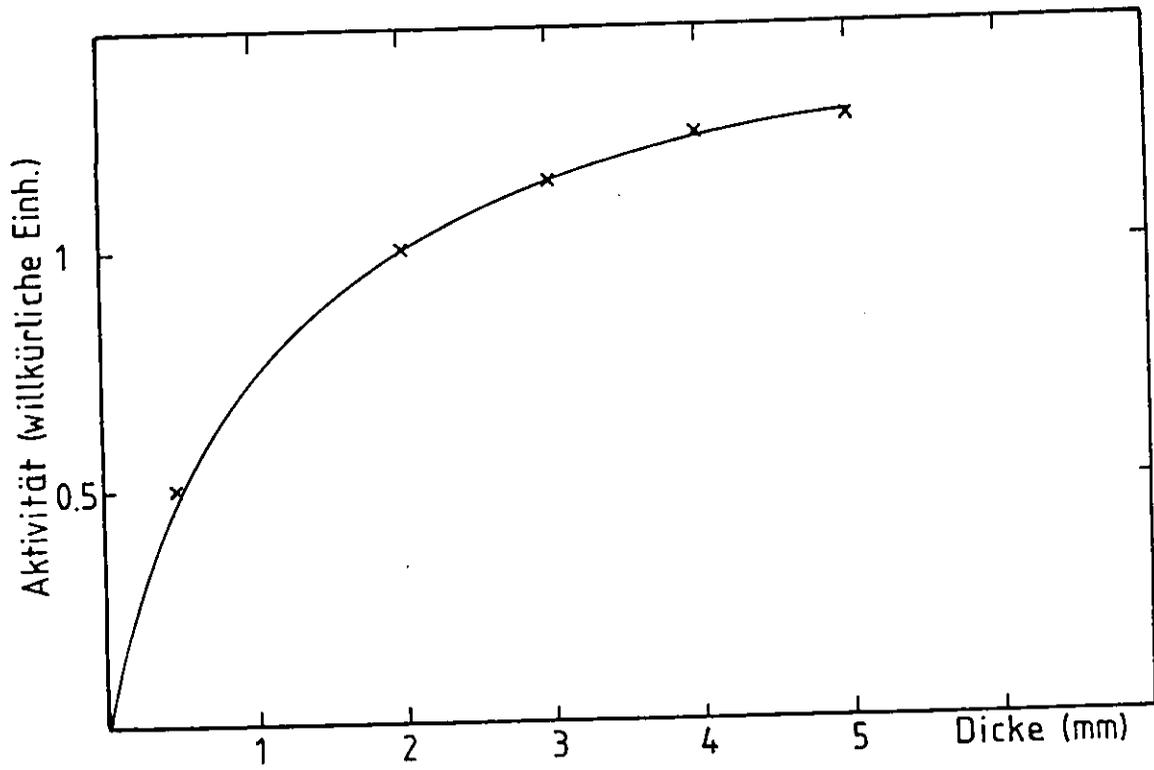


Abb. 3 Abhängigkeit der Aktivität einer Kobaltscheibe in der Mitte einer 8"-Kugel von ihrer Dicke, bei gegebener Neutronenfluss.