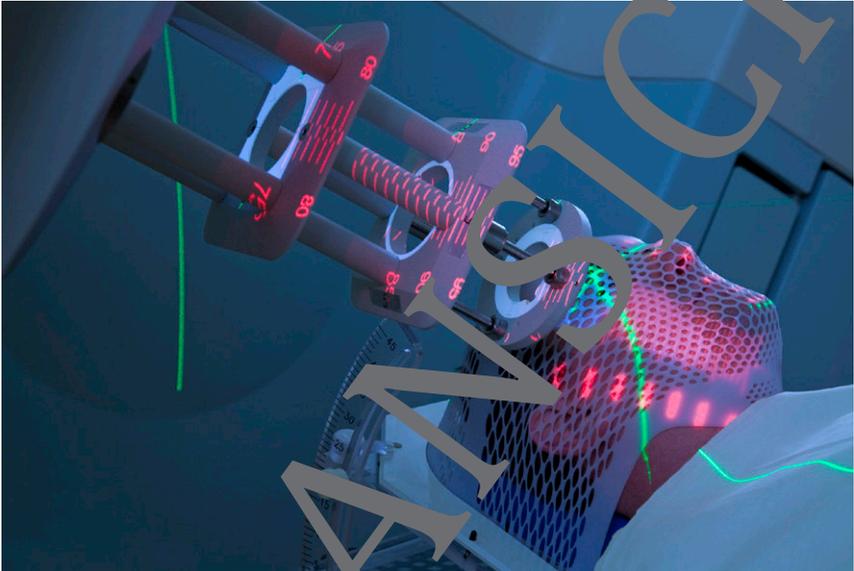


## F.1.26

Grundlagen der Quantenphysik – Photonen, Fotoeffekt, Comptoneffekt

### Physikalische Grundlagen der Strahlentherapie mit Photonen

Prof. Dr. Axel Donges



© RAABE 2024

© Mark Kostich/iStock/Getty Images Plus

In Deutschland erkranken aktuell mehr als 500.000 Personen im Jahr an Krebs. Bei jeder zweiten erkrankten Person kommt im Laufe der Erkrankung eine Strahlentherapie zum Einsatz. Ziel der Strahlentherapie ist die Krebszellen mithilfe ionisierender Strahlung zu zerstören und so die Krankheit zu heilen. In dieser Einheit werden die physikalischen Grundlagen der Strahlentherapie mit Photonen behandelt. Ihre Lernenden lernen die Grundlagen kennen und erarbeiten an einem Fallbeispiel einen eigenen Therapieplan.

## KOMPETENZPROFIL

<b>Klassenstufe:</b>	11/12/13
<b>Dauer:</b>	4 – 6 Unterrichtsstunden
<b>Kompetenzen:</b>	Erklären von Phänomenen unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien (S1) bzw. bereits bekannter geeigneter Modelle bzw. Theorien für die Lösung physikalischer Probleme (S3), anwenden bekannter mathematischer Verfahren auf physikalische Sachverhalte (S7), physikalisches Modellieren von Phänomenen, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander bezogen werden (E4), Beurteilen der Eignung von physikalischen Modellen und Theorien für die Lösung von Problemen (E3)
<b>Methoden:</b>	Übung, Recherche
<b>Inhalt:</b>	Photonen, Linearbeschleuniger, Photoeffekt, Compton-Effekt, Paarbildung, mathematische Modellierung der Absorption von Photonen, Energiedosis, Kerma, Tiefendosis-Kurve, Bestrahlung eines Tumors

## Didaktisch-methodische Hinweise

### Die Schülerinnen und Schüler lernen

Kernzerfälle und ionisierende Strahlung zu beschreiben. Sie können biologische Wirkungen und gesundheitliche Folgen ionisierender Strahlung beschreiben sowie medizinische und technische Anwendungen nennen. Sie erkennen, dass mithilfe von Photonenstrahlung Tumorgewebe zerstört werden kann. Sie erkennen weiterhin, dass physikalische Begriffe, Prinzipien und Theorien (Energie, Masse, Absorption von Photonen, Photoeffekt, Compton-Effekt usw.) direkte Anwendungen in der Medizin finden.

### Methodische Hinweise

In Leitenden Material **M 1** erfahren die Schülerinnen und Schüler, dass Tumore mit Photonenstrahlung und Teilchenstrahlung therapiert werden können. Sie erkennen, dass tiefenliegende Tumore am besten mit Photonen behandelt werden, da diese eine größere Reichweite im Körper haben. Die heute nicht mehr verwendete „Kobalt-Kanone“ wird kurz in Material **M 2** angesprochen, bevor auf den heute verwendeten Linearbeschleuniger eingegangen wird. Die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass durch Variation der Beschleunigungsspannung die Energie der Photonen verändert werden kann. In den Materia-

lien **M 3 – M 4** wird die Absorption von Photonen thematisiert. Dabei kann die anspruchsvolle mathematische Herleitung des Absorptionsgesetzes ausgelassen werden. Dann folgen zwei Materialien (**M 5** und **M 6**) zur Kerma und zur Energiedosis. Auch in **M 6** kann die Herleitung des Kerma-Verlaufes im Absorber übersprungen werden. Normalerweise wird das Kerma in der Schule nicht behandelt. Ihre Kenntnis ist aber zwingend notwendig, um die Tiefendosis-Kurve verstehen zu können. Die Tiefendosis-Kurve – das eigentliche Ziel dieses Beitrags – wird im Material **M 7** behandelt. Zum Schluss können die Schülerinnen und Schüler ihre gewonnenen Erkenntnisse anwenden und in **M 8** selbst einen Bestrahlungspfad für einen Tumor aufstellen.

Sie finden bei den Aufgaben **Hilfekarten**, die Sie zur Differenzierung verwenden und nach Bedarf an Ihre Lernenden ausgeben können.

### Lernvoraussetzungen

Die Lernenden sollten grundlegende Kenntnisse aus der Atom- und Kernphysik haben. Konkret ist es von Vorteil, wenn sie über Kenntnisse zu den folgenden physikalischen Begriffen verfügen: Photon, Absorption von Photonen, Erzeugung von Röntgenstrahlung.

### Anmerkung zu den Kompetenzen

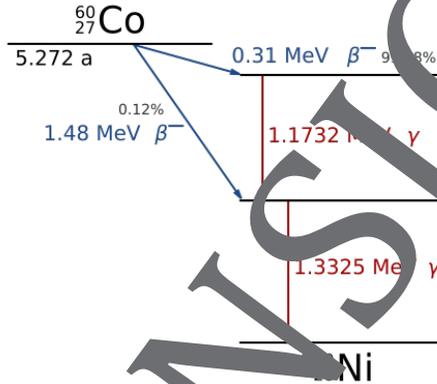
Die Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife ([https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschuesse/2020/2020\\_06\\_18-BildungsstandardsAHR\\_Physik.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschuesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf)) werden in ihrem Kompetenzmodell vier Kompetenzbereiche. Die folgende Tabelle ordnet die einzelnen Materialien schwerpunktmäßig den Kompetenzbereichen zu:

Kompetenzbereich	Material
Sachkompetenz	M 1 – M 8
Erkenntnisgewinnungskompetenz	M 1, M 8
Kommunikationskompetenz	M 4
Bewertungskompetenz	

Diese Kompetenzbereiche werden in den Bildungsstandards näher definiert und untergliedert. Daraus wurden die entsprechenden Abkürzungen für Sachkompetenz (S1 – S7), Erkenntnisgewinnungskompetenz (E1 – E11), Kommunikationskompetenz (K1–K10) und Bewertungskompetenz (B1 – B8) übernommen, die im obigen Kompetenzprofil Verwendung finden.

## M 2 Strahlungsquellen für hochenergetische Photonen

Im Jahre 1951 wurde erstmals die im Volksmund als „Kobalt-Kanone“ bezeichnete Strahlungsquelle zur Tumorbestrahlung eingesetzt. Dabei wurde der Beta-Zerfall des radioaktiven  $^{60}\text{Co}$  in  $^{60}\text{Ni}$  genutzt (Halbwertszeit 5,26 Jahre), bei dem zwei Photonen (Gamma-Quanten) mit einer Energie von 1,17 MeV und 1,33 MeV entstehen. Diese Geräte entsprechen heute nicht mehr dem Stand der Technik.



© Inductiveload/Wikimedia Commons, public domain

© RAABE 2024

Heute werden zur Erzeugung ultraharter Photonenstrahlung Linearbeschleuniger eingesetzt. Ein Linearbeschleuniger beschleunigt Elektronen mithilfe einer Beschleunigungsspannung  $U_B$  von typischer Weise mehreren MV (Megavolt) auf nahezu Lichtgeschwindigkeit. Am Ende der Beschleunigungsstrecke treffen die Elektronen mit der kinetischen Energie  $E_{kin} = eU_B$  auf ein Bremstarget, das sie abbremsen. So entsteht – wie bei einer klassischen Röntgenröhre – Bremsstrahlung. Diese Photonen haben ein kontinuierliches Energiespektrum, das von 0 bis zu  $eU_B$  (z. B.  $eU_B = 10 \text{ MeV}$  bei  $U_B = 10 \text{ MV}$ ) reicht.



© Universitätsklinikum Schleswig-Holstein/Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0 DE

## Aufgaben

1. Welche Energie haben Elektronen, wenn die Beschleunigungsspannung 20 MV beträgt? Berechnen Sie und geben Sie das Ergebnis in den Einheiten MeV und J an.
2. Welche Beschleunigungsspannung wird benötigt, um mit einem Linearbeschleuniger Photonen mit einer Energie von 1,5 MeV (wie bei einer Kobalt-Kanone) zu erzeugen? Berechnen Sie.
3. Recherchieren Sie, wie eine klassische Röntgenröhre funktioniert.





## Hilfekarten

### M 2 Aufgabe 1

Verwenden Sie die Gleichheiten

$$E_{kin} = eU_B$$

und

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

### M 2 Aufgabe 2

Verwenden Sie die Gleichheit

$$E_{kin} = eU_B$$

und stellen Sie nach  $U_B$  um.

### M 2 Aufgabe 3

Recherchieren Sie die Begriffe

- Glühkathode / Heizspule
- Anode
- Bremspektrum
- Charakteristische Anodenstrahlung
- Heizspannung
- Anodenspannung

# Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.  
Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ✓ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ✓ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ✓ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ✓ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ✓ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



Testen Sie RAAbits Online  
14 Tage lang kostenlos!

[www.raabits.de](http://www.raabits.de)

