

9. Übung zur Medizinphysik II

WS 2015/16

Ausgabe: 14.12.2015

Abgabe: 04.01.2016, 10:15 Uhr

Prof. Dr. D. Suter

Aufgabe 1: Detektorsystem (3 Punkte)

Aus der Radionuklidproduktion vom letzten Zettel haben Sie nun tatsächlich einen ^{125}I -Seed hergestellt. Dieser emittiert γ -Strahlung. Nehmen Sie für die folgenden Aufgaben eine mittlere Energie von $E_\gamma = 28 \text{ keV}$ für die γ -Quanten an. Die Aktivität des Seeds beträgt $A = 6 \text{ GBq}$.

Sie haben sich ein Detektorsystem, bestehend aus einem Szintillator und Photomultiplier besorgt, die über einen Lichtleiter gekoppelt sind. Im Szintillator wird im Mittel ein Photon pro 25 eV deponierter Energie produziert, von denen etwa zwei Drittel durch den Lichtleiter auf die Photokathode des Photomultipliers gelangen. Aufgrund der Geometrie von Seed und Szintillator erreichen die Hälfte aller γ -Quanten den Szintillator.

- Mit welcher Rate treffen die Photonen auf die Photokathode, wenn die γ -Quanten ihre gesamte Energie im Szintillator deponieren? (1P.)
- Die auf die Kathode auftreffenden Photonen schlagen jeweils ein Elektron heraus. Diese Primärelektronen werden auf die erste Dynode beschleunigt, wo sie jeweils $Z = 6$ Sekundärelektronen erzeugen, welche wiederum auf eine Dynode fokussiert werden und gleichfalls $Z = 6$ neue Elektronen erzeugen. Nach insgesamt N Dynoden, zwischen denen jeweils die gleiche Potentialdifferenz ΔU liegt, messen Sie den Strom $I = 2,79 \text{ mA}$. Als Beschleunigungsspannung über den gesamten Detektor legen Sie $U_B = 39 \text{ V}$ an. Berechnen Sie die Anzahl N der Dynoden und die Austrittsarbeit W des Dynodenmaterials. Nehmen Sie für die Rechnung an, dass einfallende Elektronen ihre gesamte kinetische Energie in der Dynode umsetzen. (1P.)
- Ihr Photomultiplier lässt sich auch im Geiger-Modus betreiben, sodass dieser einzelne Photonen detektieren kann. In diesem Modus beträgt die Totzeit des Photomultipliers $\tau = 100 \mu\text{s}$. Erläutern Sie den Begriff der Totzeit. Ist dieser Modus bei gegebener Photonenrate sinnvoll? Bestimmen Sie dafür das Maximum der Zählrate. (1P.)

Aufgabe 2: Akustische und elektromagnetische Wellen (2 Punkte)

Um Ihnen den Einstieg in das Thema Ultraschall zu erleichtern, dient diese Aufgabe als eine Auffrischung Ihrer Kenntnisse. In Wasser können sich sowohl elektromagnetische als auch akustische Wellen ausbreiten. Die relevanten Materialparameter sind:

Permeabilitätszahl	$\mu_r = 1$
Permittivitätszahl	$\varepsilon_r = 80,3$
Dichte	$\rho_0 = 998,2 \text{ kg/m}^3$
Kompressibilität	$\kappa = 4,539 \cdot 10^{-10} \text{ ms}^2/\text{kg}$

- Berechnen Sie die Phasengeschwindigkeit und den Wellenwiderstand für elektromagnetische und akustische Wellen. (1P.)
- Wie muss die Frequenz der akustischen Wellen gewählt werden, damit sie die gleiche Wellenlänge wie eine elektromagnetische Welle mit einer Frequenz von 1 GHz hat? (1P.)

Aufgabe 3: Fledermäuse und Echoortung, Einführung in die US-Technik (4 Punkte)

Die Echoortung ist eine Wahrnehmungsform von bestimmten Tieren, wie z.B. den Fledermäusen. Sie senden Schallwellen aus, welche an Hindernissen reflektiert werden, um sich im Raum zu orientieren. Nehmen Sie an, die von der großen Hufeisennase (Fledermausart) ausgesandte Welle hat eine Frequenz von 83 kHz.

- a) Bestimmen Sie die Wellenlänge λ der Schallwelle, sowie die Zeit τ , die es dauert, bis die Fledermaus das reflektierte Signal eines sich in 30 m befindlichen Hindernisses aufnimmt. (Suchen Sie in geeigneter Literatur nach dem Kompressionsmodul k und der Dichte ρ von Luft.) (1P.)

Nun, da sich die große Hufeisennase gut zurechtfindet, ist es an der Zeit zu jagen. Die Fledermaus fliegt mit einer Geschwindigkeit $v_F = 20 \text{ km/h}$. Ihr kommt ein saftiger Nachtschmetterling mit einer Geschwindigkeit $v_S = 11 \text{ km/h}$ entgegen.

- b) Welche Frequenz "misst" die Fledermaus, wenn die Schallwelle von der Mücke reflektiert wird? (1P.)

Abseits der sicherlich interessanten Fauna der Fledermäuse sollen Sie sich noch ein wenig mit der Ultraschall-Technik beschäftigen. Dazu beantworten sie folgende Fragen:

- c) Welche Effekte müssen bei der Sonographie beachtet werden und schränken damit das Einsatzgebiet in der Diagnostik ein? Welche Strukturen lassen sich gut bzw. schlecht erkennen? (1P.)
- d) Vermutlich werden Sie bei Aufgabenteil c) zuerst an Knochen als schlecht aufzulösende Struktur gedacht haben. Tatsächlich existiert jedoch die Knochensonographie, z.B. zur Darstellung eines Kallus (informieren Sie sich, was das ist.) oder in der Osteoporesediagnostik. Beschreiben Sie die Möglichkeit dieser Anwendung und gehen Sie auf Vor- und Nachteile ein. (1P.)

Freiwillige Extraaufgabe über die Ferien:

Aufgabe 4: Impedanztransformation bei verschiedenen Medien

Beim Ultraschall treffen die Schallwellen auf viele unterschiedliche Gewebe, die voneinander getrennt sind (Haut-, Fett-, Muskel-, Organschichten, etc.). Dies hat eine Änderung der Impedanzen in den verschiedenen Medien zur Folge. In dieser Aufgabe geht es darum, dass Sie ein Gefühl dafür bekommen, wie die Beziehungen der verschiedenen Parameter zueinander sind.

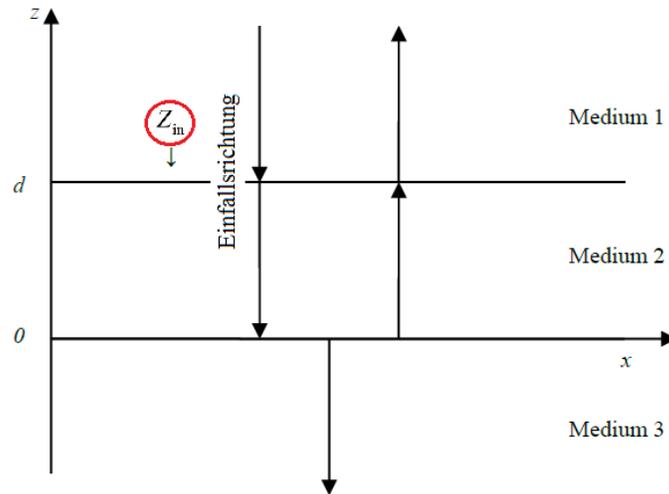
Durch geeignete Wahl der Schichtdicke und des Materials zwischen zwei Medien mit unterschiedlichen Impedanzen kann eine Anpassung dieser beiden Medien erreicht werden. In dieser Aufgabe geht es darum Schicht 2 als in der Länge angepasste zu ermitteln.

Eine longitudinale ebene Welle trifft senkrecht auf ebene Grenzschichten zwischen fluiden Medien mit unterschiedlichen Materialparametern (dargestellt durch die linken Pfeile in $-z$ -Richtung in der Abbildung) und ist beschrieben durch:

$$P_1(z) = P_{V1}e^{ik_1z} + P_{R1}e^{-ik_1z} \quad (1)$$

$$V_1(z) = \frac{1}{Z_1}P_{V1}e^{ik_1z} - \frac{1}{Z_1}P_{R1}e^{-ik_1z}. \quad (2)$$

Gleichungen (1) und (2) leiten sich aus der Lösung einer ebenen, homogenen Welle her. $P_1(z)$ entspricht dem Druck- und $V_1(z)$ dem Schallschnellen-Phasor. Medium 2 besitzt eine endliche Dicke d . Medium 1 und 3 sind in z -Richtung unendlich ausgedehnt.



Allgemein gilt für eine Welle im Medium a , die senkrecht auf die Grenzschicht zu einem unendlich ausgedehnten Medium b trifft, das Amplitudenverhältnis

$$\Gamma_p = \frac{P_{Ra}}{P_{Va}} = \frac{Z_b - Z_a}{Z_b + Z_a}. \quad (3)$$

- Leiten Sie zuerst einen Ausdruck für $Z_{in}(z = d, \text{ s. Abbildung})$ her. Benutzen Sie als erstes Gleichung (3), um eine Abhängigkeit $P_{R2}(\Gamma_p(z = 0))$ herzustellen. Anschließend bilden Sie das Verhältnis $Z_{in} = \frac{P_2}{V_2}$ und vereinfachen diese Gleichung. Denken Sie an den Zusammenhang von Exponential- und trigonometrischen Funktionen.
- Berechnen Sie die Impedanz Z_{in} und den Reflexionskoeffizienten $\Gamma_p(z = d)$ für $d = \lambda/2$ und $d = \lambda/4$.
- Unter welcher Bedingung kann mithilfe einer bestimmten Dicke d von Medium 2 ein reflexionsfreier Übergang von Medium 1 in Medium 3 erreicht werden?

!!! Diese Aufgabe geht nicht in die Wertung mit ein, sondern dient lediglich der eigenen Interesse eines Jeden !!!

