

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama  
Sidang Akademik 2004/2005

Oktober 2004

**ZCE 331/4 - Biofizik Sinaran**

Masa : 3 jam

---

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **SEMBILAN** muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **EMPAT** soalan sahaja. Kesemuanya wajib dijawab dalam Bahasa Malaysia.

1. (a) Bincangkan proses-proses reputan melalui:
- (i) pancaran  $\beta^+$
  - (ii) tawanan elektron.
- (20/100)
- (b) Bincangkan secara ringkas keseimbangan sekular dan keadaan tiada keseimbangan. Lakarkan gambarajah aktiviti dengan masa bagi nukleus induk dan nukleus anak bagi setiap kes.
- (30/100)
- (c) Suatu sumber radium mengandungi 50 mg  $^{226}_{88}\text{Ra}$  dan masa setengah hayatnya  $t_{1/2} = 1602$  tahun.
- (i) Hitungkan pemalar reputan bagi  $^{226}_{88}\text{Ra}$
  - (ii) Hitungkan nilai purata hayat
  - (iii) Berapakah bilangan atom  $^{226}_{88}\text{Ra}$  yang terkandung dalam sumber?
  - (iv) Hitungkan masa  $t_m$  untuk anak nukleus  $^{222}_{86}\text{Rn}$  menjadi maksimum ( $t_{1/2} = 3.82$  hari). Anggapkan pada masa  $t = 0$ , aktiviti anak nukleusnya sifar.
  - (v) Hitungkan aktiviti dan bilangan atom  $^{222}_{86}\text{Rn}$  pada masa  $t_m$ .
- (50/100)
2. (a) Bincangkan secara ringkas proses fotoelektrik, Compton dan penghasilan pasangan.
- (20/100)
- (b) Nyatakan jenis saling tindakan yang berlaku antara foton yang bertenaga 1 MeV dengan jirim karbon. Berikan kepentingan relatif bagi setiap saling tindakan itu.
- (20/100)
- (c) Hitungkan tenaga purata yang dipindahkan pada karbon jika fluens fotonnya  $10^6 \text{ cm}^{-2}$  dan ketebalan karbonnya  $10^{-2} \text{ gcm}^{-2}$ .
- (30/100)
- (d) Bacaan berikut bagi serapan sinar gama didapati dengan menggunakan penyerap plumbum:
- |                        |      |     |     |     |     |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|
| Ketebalan plumbum (mm) | 0    | 4   | 8   | 15  | 25  |
| Bilangan per minit     | 1000 | 770 | 600 | 390 | 210 |
- (i) Tentukan pekali pengecilan linear dan pekali pengecilan jisim.

- (ii) Nyatakan ciri-ciri berkaitan dengan tenaga sinar gama.

$$\rho_{\text{Pb}} = 11.3 \text{ gcm}^{-3}$$

Berat atom plumbum = 207.21.

(30/100)

3. (a) Bincangkan perbezaan di antara kerma dan dos serapan. (20/100)
- (b) Bincangkan kepentingan seimbangan zarah bercas (CPE) dalam pengukuran dedahan. (20/100)
- (c) Nyatakan anggapan-anggapan yang digunakan dalam teorem Bragg-Gray. (20/100)
- (d) Fluens foton pada suatu titik P ialah  $10^{10}$  foton  $\text{m}^{-2}$ . Tenaga fotonnya 3 MeV.
- (i) Hitungkan tenaga fluens, dedahan dan dos serapan dalam udara pada titik P.
- (ii) Hitungkan bilangan pasangan ion yang dihasilkan jika dedahan itu dibaca dari kebuk pengionan (ion chamber) yang mengandungi 0.6 cc udara.

$$[\rho_{\text{udara}} = 1.293 \text{ kgm}^{-3} \text{ pada STP}]$$

$$\left(\frac{w}{e}\right)_{\text{udara}} = 33.97 \text{ J C}^{-1}$$

- (iii) Katakan dosimeter memenuhi syarat Bragg-Gray, hitungkan dos dalam dinding yang dibina dari Teflon

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

(40/100)

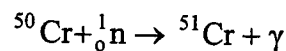
4. (a) Bandingkan pengesanan semikonduktor Ge(Li) dengan pengesanan NaI(Tl) (20/100)
- (b) Katakan 4 MeV sinar  $\gamma$  melalui pengesanan NaI(Tl). Lakarkan spektrum differensial yang didapati. Berikan nama yang sepadan dengan setiap puncak dan jelaskan proses-proses berkenaan dengan setiap puncak. Hitungkan tenaga yang berkaitan dengan puncak itu.

(40/100)

...4/-

- (c) Suatu sampel mengandungi suatu kuantiti kromium. Sampel itu disinari dengan fluks neutron terma  $10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>/saat untuk satu minggu. <sup>51</sup>Cr yang dihasilkan memancarkan sinar  $\gamma$  yang bertenaga 0.323 MeV dan setengah hayatnya 27.8 hari. Kebarangkalian bagi pemancarannya ialah 0.098.

Suatu pembilang yang kecekapannya 10% mengesan 600 bilangan per minit bagi sinar  $\gamma$  itu. Hitungkan jisim kromium yang wujud di dalam sampel asal.



$$\sigma = 13.5 \text{ barn}$$

<sup>50</sup>Cr hanya membentuk 4.31% daripada kromium asli yang wujud di bumi.

$$1 \text{ barn} = 10^{-28} \text{ m}^2.$$

(40/100)

5. (a) Bincangkan kesan 'tindakbalas terus' dan kesan 'tindakbalas bukan terus' dalam sel maut. (20/100)
- (b) Huraikan dengan teliti bagaimana suatu lengkung penghidupan bagi sel mammalia (mammalian cell survival curve) didapati merujuk pada dos sinaran. Label semua parameter yang penting dalam lengkung itu. (30/100)
- (c) Bagi dos serapan 200 cGy, nisbah penghidupan bagi sel untuk sinar  $\gamma$  dan zarah  $\alpha$  masing-masing adalah 0.1 dan 0.001. Mengapakah nisbah penghidupannya berbeza walaupun dos serapannya sama? Terangkan. (25/100)
- (d) Huraikan kesan-kesan yang manusia boleh dapat dari sinaran dos rendah. Nyatakan langkah-langkah yang dilakukan untuk mengurangkan dos dari luar dan dalam bagi pekerja sinaran. (25/100)

---


$$\begin{aligned}
 1 \text{ kg} &= 5.6095 \times 10^{29} \text{ MeV} \\
 1 \text{ amu} &= 931.50 \text{ MeV} \\
 \text{Electron rest mass} &= 0.51100 \text{ MeV} \\
 \text{Proton rest mass} &= 938.26 \text{ MeV} \\
 \text{Neutron rest mass} &= 939.55 \text{ MeV} \\
 1 \text{ electron volt (eV)} &= 1.6022 \times 10^{-19} \text{ J} \\
 &= 1.6022 \times 10^{-12} \text{ erg} \\
 1 \text{ joule (J)} &= 10^7 \text{ erg} \\
 1 \text{ coulomb (C)} &= 2.9979 \times 10^9 \text{ esu} \\
 1 \text{ gray (Gy)} &= 1 \text{ J/kg} = 10^2 \text{ rad} = 10^4 \text{ erg/g} \\
 1 \text{ sievert (Sv)} &= 1 \text{ J/kg}
 \end{aligned}$$

Energy-wavelength conversion:

$$\begin{aligned}
 &1.23985 \times 10^{-6} \text{ eV m} \\
 &12.3985 \text{ keV \AA}
 \end{aligned}$$

Exposure conversion:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ roentgen (R)} &= 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \\
 1 \text{ C/kg} &= 3876 \text{ R}
 \end{aligned}$$


---

Carbon, Z = 6							
Multiply data by 0.05014 to get cm <sup>2</sup> /g or by 0.005014 to get m <sup>2</sup> /kg							
Photon Energy (MeV)	Compton With and Without Coherent		$\times 10^{-28}$ Photoelectric $m^2/atom$	Nuclear and Electron Pair		Total With and Without Coherent	
	$\sigma + \sigma_R$	$\sigma$		$\sigma_{Nuc}$	$\sigma_{Elec}$	$\mu$	$\mu - \sigma_R$
1.00 -02	6.11 +00	3.84 +00	3.93 +01	—	—	4.54 +01	4.31 +01
1.50 -02	5.06 +00	3.77 +00	1.06 +01	—	—	1.57 +01	1.44 +01
2.00 -02	4.53 +00	3.71 +00	4.01 +00	—	—	8.54 +00	7.72 +00
3.00 -02	4.00 +00	3.58 +00	9.99 -01	—	—	5.00 +00	4.58 +00
4.00 -02	3.73 +00	3.47 +00	3.79 -01	—	—	4.10 +00	3.85 +00
5.00 -02	3.54 +00	3.37 +00	1.93 -01	—	—	3.73 +00	3.56 +00
6.00 -02	3.39 +00	3.27 +00	1.15 -01	—	—	3.51 +00	3.39 +00
8.00 -02	3.17 +00	3.10 +00	4.50 -02	—	—	3.21 +00	3.15 +00
1.00 -01	3.00 +00	2.96 +00	2.16 -02	—	—	3.02 +00	2.98 +00
1.50 -01	2.69 +00	2.66 +00	5.75 -03	—	—	2.69 +00	2.67 +00
2.00 -01	2.45 +00	2.44 +00	2.29 -03	—	—	2.45 +00	2.44 +00
3.00 -01	2.13 +00	2.12 +00	6.46 -04	—	—	2.13 +00	2.12 +00
4.00 -01	1.90 +00	1.90 +00	2.77 -04	—	—	1.91 +00	1.90 +00
5.00 -01	1.74 +00	—	1.49 -04	—	—	1.74 +00	—
6.00 -01	1.61 +00	—	9.27 -05	—	—	1.61 +00	—
8.00 -01	1.41 +00	—	4.68 -05	—	—	1.41 +00	—
1.00 +00	1.27 +00	—	2.89 -05	—	—	1.27 +00	—
1.50 +00	1.03 +00	—	1.35 -05	1.60 -03	—	1.03 +00	—
2.00 +00	8.79 -01	—	8.61 -06	6.40 -03	—	8.86 -01	—
3.00 +00	6.92 -01	—	4.82 -06	1.84 -02	2.41 -04	7.11 -01	—
4.00 +00	5.77 -01	—	3.29 -06	2.98 -02	9.91 -04	6.08 -01	—
5.00 +00	4.98 -01	—	2.52 -06	4.00 -02	1.95 -03	5.40 -01	—
6.00 +00	4.40 -01	—	2.01 -06	4.90 -02	3.00 -03	4.93 -01	—
8.00 +00	3.60 -01	—	1.44 -06	6.42 -02	5.12 -03	4.30 -01	—
1.00 +01	3.07 -01	—	1.12 -06	7.66 -02	7.01 -03	3.90 -01	—
1.50 +01	2.27 -01	—	—	1.00 -01	1.09 -02	3.38 -01	—
2.00 +01	1.82 -01	—	—	1.17 -01	1.40 -02	3.14 -01	—
3.00 +01	1.33 -01	—	—	1.41 -01	1.87 -02	2.93 -01	—
4.00 +01	1.05 -01	—	—	1.58 -01	2.21 -02	2.86 -01	—
5.00 +01	8.80 -02	—	—	1.71 -01	2.48 -02	2.84 -01	—
6.00 +01	7.59 -02	—	—	1.81 -01	2.71 -02	2.84 -01	—
8.00 +01	5.98 -02	—	—	1.96 -01	3.06 -02	2.86 -01	—
1.00 +02	4.97 -02	—	—	2.07 -01	3.31 -02	2.90 -01	—

- 7 -

## Air (Dry)

ENERGY MeV	STOPPING POWER			CSDA RANGE g/cm <sup>2</sup>	RADIATION YIELD	DENS. EFF. CORR. (DELTA)
	COLLISION MeV cm <sup>2</sup> /g	RADIATIVE MeV cm <sup>2</sup> /g	TOTAL MeV cm <sup>2</sup> /g			
0.0100	1.975E+01	3.897E-03	1.976E+01	2.883E-04	1.082E-04	0.0
0.0125	1.663E+01	3.921E-03	1.663E+01	4.269E-04	1.299E-04	0.0
0.0150	1.445E+01	3.937E-03	1.445E+01	5.886E-04	1.506E-04	0.0
0.0175	1.283E+01	3.946E-03	1.283E+01	7.726E-04	1.706E-04	0.0
0.0200	1.157E+01	3.954E-03	1.158E+01	9.781E-04	1.898E-04	0.0
0.0250	9.753E+00	3.966E-03	9.757E+00	1.451E-03	2.267E-04	0.0
0.0300	8.492E+00	3.976E-03	8.496E+00	2.001E-03	2.618E-04	0.0
0.0350	7.563E+00	3.986E-03	7.567E+00	2.626E-03	2.955E-04	0.0
0.0400	6.848E+00	3.998E-03	6.852E+00	3.322E-03	3.280E-04	0.0
0.0450	6.281E+00	4.011E-03	6.285E+00	4.085E-03	3.594E-04	0.0
0.0500	5.819E+00	4.025E-03	5.823E+00	4.912E-03	3.900E-04	0.0
0.0550	5.435E+00	4.040E-03	5.439E+00	5.801E-03	4.197E-04	0.0
0.0600	5.111E+00	4.057E-03	5.115E+00	6.750E-03	4.488E-04	0.0
0.0700	4.593E+00	4.093E-03	4.597E+00	8.817E-03	5.049E-04	0.0
0.0800	4.198E+00	4.133E-03	4.202E+00	1.110E-02	5.590E-04	0.0
0.0900	3.886E+00	4.175E-03	3.890E+00	1.357E-02	6.112E-04	0.0
0.1000	3.633E+00	4.222E-03	3.637E+00	1.623E-02	6.618E-04	0.0
0.1250	3.172E+00	4.348E-03	3.177E+00	2.362E-02	7.826E-04	0.0
0.1500	2.861E+00	4.485E-03	2.865E+00	3.193E-02	8.968E-04	0.0
0.1750	2.637E+00	4.633E-03	2.642E+00	4.103E-02	1.006E-03	0.0
0.2000	2.470E+00	4.789E-03	2.474E+00	5.082E-02	1.111E-03	0.0
0.2500	2.236E+00	5.126E-03	2.242E+00	7.212E-02	1.311E-03	0.0
0.3000	2.084E+00	5.495E-03	2.089E+00	9.527E-02	1.502E-03	0.0
0.3500	1.978E+00	5.890E-03	1.984E+00	1.199E-01	1.688E-03	0.0
0.4000	1.902E+00	6.311E-03	1.908E+00	1.456E-01	1.869E-03	0.0
0.4500	1.845E+00	6.757E-03	1.852E+00	1.722E-01	2.048E-03	0.0
0.5000	1.802E+00	7.223E-03	1.809E+00	1.995E-01	2.225E-03	0.0
0.5500	1.769E+00	7.708E-03	1.776E+00	2.274E-01	2.401E-03	0.0
0.6000	1.743E+00	8.210E-03	1.751E+00	2.558E-01	2.577E-03	0.0
0.7000	1.706E+00	9.258E-03	1.715E+00	3.135E-01	2.929E-03	0.0
0.8000	1.683E+00	1.036E-02	1.694E+00	3.722E-01	3.283E-03	0.0
0.9000	1.669E+00	1.151E-02	1.681E+00	4.315E-01	3.638E-03	0.0
1.0000	1.661E+00	1.271E-02	1.674E+00	4.912E-01	3.997E-03	0.0
1.2500	1.655E+00	1.588E-02	1.671E+00	6.408E-01	4.906E-03	0.0
1.5000	1.661E+00	1.927E-02	1.680E+00	7.900E-01	5.836E-03	0.0
1.7500	1.672E+00	2.284E-02	1.694E+00	9.382E-01	6.784E-03	0.0
2.0000	1.684E+00	2.656E-02	1.711E+00	1.085E+00	7.748E-03	0.0
2.5000	1.712E+00	3.437E-02	1.747E+00	1.374E+00	9.716E-03	0.0
3.0000	1.740E+00	4.260E-02	1.783E+00	1.658E+00	1.173E-02	0.0
3.5000	1.766E+00	5.115E-02	1.817E+00	1.935E+00	1.377E-02	0.0
4.0000	1.790E+00	5.999E-02	1.850E+00	2.208E+00	1.583E-02	0.0
4.5000	1.812E+00	6.908E-02	1.882E+00	2.476E+00	1.792E-02	0.0
5.0000	1.833E+00	7.838E-02	1.911E+00	2.740E+00	2.001E-02	0.0
5.5000	1.852E+00	8.787E-02	1.940E+00	2.999E+00	2.211E-02	0.0
5.0000	1.870E+00	9.754E-02	1.968E+00	3.255E+00	2.422E-02	0.0
7.0000	1.902E+00	1.173E-01	2.020E+00	3.757E+00	2.845E-02	0.0
8.0000	1.931E+00	1.376E-01	2.068E+00	4.246E+00	3.269E-02	0.0
9.0000	1.956E+00	1.584E-01	2.115E+00	4.724E+00	3.692E-02	0.0
10.0000	1.979E+00	1.795E-01	2.159E+00	5.192E+00	4.113E-02	0.0
12.5000	2.029E+00	2.337E-01	2.262E+00	6.323E+00	5.156E-02	0.0
15.0000	2.069E+00	2.895E-01	2.359E+00	7.405E+00	6.181E-02	0.0
17.5000	2.104E+00	3.464E-01	2.451E+00	8.444E+00	7.185E-02	0.0
20.0000	2.134E+00	4.042E-01	2.539E+00	9.446E+00	8.167E-02	0.0
25.0000	2.185E+00	5.219E-01	2.707E+00	1.135E+01	1.006E-01	0.0
30.0000	2.226E+00	6.417E-01	2.868E+00	1.315E+01	1.186E-01	7.636E-03
35.0000	2.257E+00	7.630E-01	3.020E+00	1.485E+01	1.357E-01	5.984E-02
40.0000	2.282E+00	8.855E-01	3.167E+00	1.646E+01	1.520E-01	1.378E-01
45.0000	2.302E+00	1.009E+00	3.311E+00	1.801E+01	1.676E-01	2.266E-01
50.0000	2.319E+00	1.133E+00	3.452E+00	1.948E+01	1.825E-01	3.192E-01
55.0000	2.334E+00	1.258E+00	3.592E+00	2.090E+01	1.968E-01	4.120E-01
60.0000	2.347E+00	1.384E+00	3.731E+00	2.227E+01	2.104E-01	5.029E-01
70.0000	2.369E+00	1.637E+00	4.006E+00	2.486E+01	2.361E-01	6.762E-01
80.0000	2.387E+00	1.892E+00	4.279E+00	2.727E+01	2.598E-01	8.365E-01
90.0000	2.403E+00	2.148E+00	4.551E+00	2.954E+01	2.818E-01	9.842E-01

## Teflon

ENERGY MeV	STOPPING POWER			CSDA RANGE g/cm <sup>2</sup>	RADIATION YIELD	DENS. EFF. CORR. (DELTA)
	COLLISION MeV cm <sup>2</sup> /g	RADIATIVE MeV cm <sup>2</sup> /g	TOTAL MeV cm <sup>2</sup> /g			
0.0100	1.843E+01	4.211E-03	1.843E+01	3.105E-04	1.249E-04	0.0
0.0125	1.553E+01	4.247E-03	1.554E+01	4.589E-04	1.502E-04	0.0
0.0150	1.351E+01	4.271E-03	1.351E+01	6.320E-04	1.743E-04	0.0
0.0175	1.200E+01	4.287E-03	1.201E+01	8.287E-04	1.975E-04	0.0
0.0200	1.084E+01	4.300E-03	1.084E+01	1.048E-03	2.199E-04	0.0
0.0250	9.141E+00	4.316E-03	9.146E+00	1.553E-03	2.629E-04	0.0
0.0300	7.965E+00	4.329E-03	7.970E+00	2.140E-03	3.037E-04	0.0
0.0350	7.098E+00	4.341E-03	7.102E+00	2.806E-03	3.428E-04	0.0
0.0400	6.430E+00	4.353E-03	6.435E+00	3.547E-03	3.805E-04	0.0
0.0450	5.900E+00	4.366E-03	5.904E+00	4.359E-03	4.169E-04	0.0
0.0500	5.468E+00	4.380E-03	5.472E+00	5.239E-03	4.529E-04	0.0
0.0550	5.109E+00	4.395E-03	5.113E+00	6.185E-03	4.865E-04	0.0
0.0600	4.806E+00	4.410E-03	4.810E+00	7.194E-03	5.200E-04	0.0
0.0700	4.321E+00	4.444E-03	4.325E+00	9.391E-03	5.847E-04	0.0
0.0800	3.951E+00	4.483E-03	3.955E+00	1.181E-02	6.467E-04	0.0
0.0900	3.658E+00	4.525E-03	3.663E+00	1.444E-02	7.065E-04	0.0
0.1000	3.421E+00	4.571E-03	3.426E+00	1.727E-02	7.643E-04	0.0
0.1250	2.989E+00	4.700E-03	2.994E+00	2.511E-02	9.021E-04	0.0
0.1500	2.697E+00	4.844E-03	2.702E+00	3.392E-02	1.032E-03	0.0
0.1750	2.487E+00	5.000E-03	2.492E+00	4.357E-02	1.156E-03	0.0
0.2000	2.330E+00	5.167E-03	2.335E+00	5.395E-02	1.275E-03	0.0
0.2500	2.111E+00	5.530E-03	2.117E+00	7.651E-02	1.503E-03	0.0
0.3000	1.968E+00	5.928E-03	1.974E+00	1.010E-01	1.721E-03	0.0
0.3500	1.869E+00	6.353E-03	1.875E+00	1.271E-01	1.931E-03	0.0
0.4000	1.797E+00	6.805E-03	1.804E+00	1.543E-01	2.137E-03	2.294E-03
0.4500	1.742E+00	7.279E-03	1.749E+00	1.824E-01	2.341E-03	2.338E-02
0.5000	1.699E+00	7.775E-03	1.707E+00	2.114E-01	2.543E-03	4.753E-02
0.5500	1.665E+00	8.291E-03	1.674E+00	2.410E-01	2.744E-03	7.398E-02
0.6000	1.639E+00	8.823E-03	1.647E+00	2.711E-01	2.945E-03	1.022E-01
0.7000	1.600E+00	9.937E-03	1.610E+00	3.326E-01	3.347E-03	1.623E-01
0.8000	1.573E+00	1.111E-02	1.585E+00	3.952E-01	3.753E-03	2.253E-01
0.9000	1.555E+00	1.233E-02	1.568E+00	4.587E-01	4.162E-03	2.896E-01
1.0000	1.543E+00	1.360E-02	1.557E+00	5.227E-01	4.575E-03	3.541E-01
1.2500	1.527E+00	1.697E-02	1.544E+00	6.841E-01	5.631E-03	5.127E-01
1.5000	1.522E+00	2.057E-02	1.542E+00	8.462E-01	6.719E-03	6.637E-01
1.7500	1.522E+00	2.437E-02	1.546E+00	1.008E+00	7.837E-03	8.056E-01
2.0000	1.525E+00	2.834E-02	1.553E+00	1.169E+00	8.983E-03	9.382E-01
2.5000	1.535E+00	3.667E-02	1.572E+00	1.490E+00	1.134E-02	1.178E+00
3.0000	1.546E+00	4.544E-02	1.592E+00	1.806E+00	1.377E-02	1.390E+00
3.5000	1.558E+00	5.456E-02	1.612E+00	2.118E+00	1.626E-02	1.578E+00
4.0000	1.569E+00	6.399E-02	1.633E+00	2.426E+00	1.879E-02	1.748E+00
4.5000	1.579E+00	7.367E-02	1.653E+00	2.730E+00	2.136E-02	1.902E+00
5.0000	1.589E+00	8.357E-02	1.672E+00	3.031E+00	2.395E-02	2.043E+00
5.5000	1.598E+00	9.367E-02	1.692E+00	3.328E+00	2.656E-02	2.173E+00
6.0000	1.606E+00	1.040E-01	1.710E+00	3.622E+00	2.919E-02	2.294E+00
7.0000	1.621E+00	1.250E-01	1.746E+00	4.201E+00	3.447E-02	2.512E+00
8.0000	1.635E+00	1.466E-01	1.781E+00	4.768E+00	3.978E-02	2.706E+00
9.0000	1.646E+00	1.686E-01	1.815E+00	5.324E+00	4.509E-02	2.880E+00
10.0000	1.657E+00	1.910E-01	1.848E+00	5.870E+00	5.040E-02	3.039E+00
12.5000	1.679E+00	2.483E-01	1.927E+00	7.194E+00	6.355E-02	3.385E+00
15.0000	1.697E+00	3.071E-01	2.004E+00	8.466E+00	7.648E-02	3.677E+00
17.5000	1.712E+00	3.672E-01	2.079E+00	9.691E+00	8.913E-02	3.939E+00
20.0000	1.724E+00	4.281E-01	2.152E+00	1.087E+01	1.015E-01	4.155E+00
25.0000	1.745E+00	5.521E-01	2.297E+00	1.312E+01	1.252E-01	4.541E+00
30.0000	1.761E+00	6.781E-01	2.439E+00	1.523E+01	1.476E-01	4.866E+00
35.0000	1.774E+00	8.056E-01	2.579E+00	1.723E+01	1.687E-01	5.146E+00
40.0000	1.785E+00	9.344E-01	2.719E+00	1.911E+01	1.886E-01	5.394E+00
45.0000	1.795E+00	1.064E+00	2.859E+00	2.091E+01	2.075E-01	5.614E+00
50.0000	1.803E+00	1.195E+00	2.998E+00	2.262E+01	2.253E-01	5.814E+00
55.0000	1.811E+00	1.326E+00	3.137E+00	2.425E+01	2.421E-01	5.996E+00
60.0000	1.818E+00	1.458E+00	3.276E+00	2.580E+01	2.581E-01	6.163E+00
70.0000	1.830E+00	1.724E+00	3.554E+00	2.874E+01	2.878E-01	6.461E+00
80.0000	1.840E+00	1.991E+00	3.831E+00	3.144E+01	3.147E-01	6.721E+00
90.0000	1.849E+00	2.260E+00	4.109E+00	3.396E+01	3.392E-01	6.952E+00



## APPENDIX D.3. (Continued)

Photon Energy (MeV)	Air			Water			ICRU Compact Bone			ICRU Striated Muscle		
	$\mu/p$	$\mu_{tr}/p$	$\mu_{en}/p$	$\mu/p$	$\mu_{tr}/p$	$\mu_{en}/p$	$\mu/p$	$\mu_{tr}/p$	$\mu_{en}/p$	$\mu/p$	$\mu_{tr}/p$	$\mu_{en}/p$
	0.01	5.04	4.61	4.61	5.21	4.79	4.79	20.3	19.2	19.2	5.30	4.87
0.015	1.56	1.27	1.27	1.60	1.28	1.28	6.32	5.84	5.84	1.64	1.32	1.32
0.02	0.758	0.511	0.511	0.778	0.512	0.512	2.79	2.46	2.46	0.796	0.533	0.533
0.03	0.350	0.148	0.148	0.371	0.149	0.149	0.962	0.720	0.720	0.375	0.154	0.154
0.04	0.248	0.0668	0.0668	0.267	0.0677	0.0677	0.511	0.304	0.304	0.267	0.0701	0.0701
0.05	0.206	0.0406	0.0406	0.225	0.0418	0.0418	0.346	0.161	0.161	0.224	0.0431	0.0431
0.06	0.187	0.0305	0.0305	0.205	0.0320	0.0320	0.273	0.0998	0.0998	0.204	0.0328	0.0328
0.08	0.167	0.0243	0.0243	0.185	0.0262	0.0262	0.209	0.0537	0.0537	0.183	0.0264	0.0264
0.10	0.155	0.0234	0.0234	0.171	0.0256	0.0256	0.181	0.0387	0.0387	0.170	0.0256	0.0256
0.15	0.136	0.0250	0.0250	0.151	0.0277	0.0277	0.150	0.0305	0.0305	0.150	0.0275	0.0275
0.2	0.124	0.0268	0.0268	0.137	0.0297	0.0297	0.133	0.0301	0.0301	0.136	0.0294	0.0294
0.3	0.107	0.0287	0.0287	0.119	0.0319	0.0319	0.114	0.0310	0.0310	0.118	0.0317	0.0317
0.4	0.0954	0.0295	0.0295	0.106	0.0328	0.0328	0.102	0.0315	0.0315	0.105	0.0325	0.0325
0.5	0.0868	0.0297	0.0296	0.0966	0.0330	0.0330	0.0926	0.0317	0.0317	0.0958	0.0328	0.0328
0.6	0.0804	0.0296	0.0295	0.0894	0.0329	0.0329	0.0856	0.0315	0.0314	0.0886	0.0326	0.0325
0.8	0.0706	0.0289	0.0289	0.0785	0.0321	0.0321	0.0751	0.0307	0.0306	0.0778	0.0318	0.0318
1.0	0.0635	0.0280	0.0278	0.0706	0.0311	0.0309	0.0675	0.0297	0.0295	0.0699	0.0308	0.0306
1.5	0.0517	0.0256	0.0254	0.0575	0.0284	0.0282	0.0549	0.0272	0.0270	0.0570	0.0282	0.0280
2	0.0444	0.0236	0.0234	0.0493	0.0262	0.0260	0.0472	0.0251	0.0249	0.0489	0.0259	0.0257
3	0.0358	0.0207	0.0205	0.0396	0.0229	0.0227	0.0382	0.0221	0.0219	0.0392	0.0227	0.0225
4	0.0308	0.0189	0.0186	0.0340	0.0209	0.0206	0.0331	0.0204	0.0200	0.0337	0.0207	0.0204
5	0.0276	0.0178	0.0174	0.0303	0.0195	0.0191	0.0297	0.0192	0.0187	0.0300	0.0193	0.0189
6	0.0252	0.0168	0.0164	0.0277	0.0185	0.0180	0.0274	0.0184	0.0178	0.0274	0.0183	0.0178
8	0.0223	0.0157	0.0152	0.0243	0.0170	0.0166	0.0244	0.0173	0.0167	0.0240	0.0169	0.0164
10	0.0205	0.0151	0.0145	0.0222	0.0162	0.0157	0.0226	0.0168	0.0159	0.0219	0.0160	0.0155