

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua  
Sidang Akademik 1994/95

April 1995

ZSE 333/3 - Pengantar Biofizik Sinaran

Masa : [3 jam]

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi EMPAT muka surat yang bercetak dan TIGA muka surat Jadual Nilai Radiologikal sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab KESEMUA EMPAT soalan.  
Kesemuanya wajib dijawab dalam Bahasa Malaysia.

1. (a) Berikan takrifan bagi keradioaktifan.  
(10 markah)
- (b) Bincangkan dengan teliti reputan melalui  $\beta^-$  (elektron) dan  $\beta^+$  (positron).  
Bagaimanakah taburan tenaga zarah beta bagi setiap proses?  
(25 markah)
- (c) Katakan 1 g potassium  $^{40}\text{K}$  tulen memancarkan  $10^5$  sinar beta per saat. Hitungkan
  - (i) pemalar reputan  $\lambda$ .
  - (ii) setengah hayat dan hayat purata bagi  $^{40}\text{K}$ .
  - (iii) Apakah perbezaan di antara setengah hayat dan hayat purata?  
(30 markah)
- (d) Suatu foil emas (Au) disinari dengan ketumpatan fluks neutron terma  $10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Jisim foilnya 3.5 mg dan  $^{198}\text{Au}$  membentuk 80% daripada emas aslinya. Keratan rentas bagi tindakbalas ialah  $\sigma = 96 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{atom}$  dan  $t_{1/2} = 2.70$  hari bagi  $^{198}\text{Au}$ .
  - (i) Hitungkan masa sinaran supaya  $^{198}\text{Au}$  mencapai aktiviti 100 mCi.

...2/-

- (ii) Kalau tiada reputan bagi  $^{198}\text{Au}$ , tentukan masa sinaran untuk mencapai aktiviti yang sama.

(35 markah)

2. (a) Bincangkan secara ringkas saling tindakan fotoelektrik, Compton dan penghasilan pasangan yang berlaku di antara foton dengan jirim. Manakah saling tindakan yang sesuai untuk menghasilkan imej sinar-X diagnostik? Berikan sebabnya.

(25 markah)

- (b) Suatu bim sempit mengandungi  $10^{10}$  foton yang bertenaga 6 MeV. Foton itu menghentam secara bertegak lurus suatu lapisan plumbum. Ketebalan plumbumnya 12 mm dan ketumpatannya  $11.3 \text{ g cm}^{-3}$ .

- (i) Tentukan bilangan saling tindakan bagi fotoelektrik, Compton, koheren dan penghasilan pasangan yang berlaku dalam plumbum.
- (ii) Tentukan banyak mana tenaga yang dipindahkan kepada zarah bercas bagi setiap jenis saling tindakan. Nisbah bagi  $\bar{E}_{tr}/E = 0.064$  bagi saling tindakan Compton.
- (iii) Jika suatu pengesan diletak di belakang plumbum, tentukan bilangan foton yang dapat dikesan.

(35 markah)

- (c) Nyatakan perbezaan di antara pekali pengecilan jisim dan kuasa penghenti jisim. Berikan faktor-faktor yang mempengaruhi kuasa penghenti jisim.

(15 markah)

- (d) 500 keV elektron melalui air. Hitungkan julat bagi elektron secara terus dan secara menggunakan kaedah csdn (continuous slowing down approximation). Dapatkan nilai berkenaan dalam jadual yang diberikan. Mengapa kedua-dua nilainya berbeza? Bolehkah puncak Bragg didapati bagi elektron? Jelaskan jawapan anda.

(25 markah)

...3/-

3. (a) Bincangkan mengenai setiap fungsi berikut bagi tiub Geiger-Muller:
- (i) Perubahan tinggi denyutan dengan voltan yang digunakan.
  - (ii) Keperluan gas 'quench' dan fungsinya.
  - (iii) Keupayaan untuk membezakan di antara zarah bercas berat dan sinaran elektron.

(15 markah)

- (b) Berikan kebaikan dan keburukan bagi pengesanan semikonduktor kalau dibanding dengan pengesanan NaI(Tl). Katakan sinar- $\gamma$  yang bertenaga 4 MeV melalui pengesanan NaI(Tl). Lakarkan spektrum differensial yang didapati dan hitungkan tenaga bagi setiap puncak. Juga lakarkan spektrum integral yang sepadan dengan spektrum differensial itu.

(40 markah)

- (c) Bincangkan kerma, dos serapan dan perhubungan di antaranya.

(15 markah)

- (d) Suatu sinar- $\gamma$  bertenaga 10 MeV memasuki isi-padu  $v$  ( $0.1 \text{ cm}^3$ ). Sinar- $\gamma$  itu melakukan penghasilan pasangan dan elektron dan positron yang dihasilkan mempunyai tenaga kinetik yang sama. Elektron itu hilang setengah tenaga kinetiknya dalam pelanggaran sebelum melepaskan dari  $v$ . Positron itu juga hilang setengah tenaga kinetik dalam pelanggaran sebelum dimusnahabiskan. Foton yang terhasil dalam pemusnahabisan melepaskan dari  $v$ . Ketumpatan  $v$  ialah  $1 \text{ gcm}^{-3}$ .

- (i) Lakarkan rajah untuk tindakbalas-tindakbalas tersebut yang berlaku dalam  $v$ .
- (ii) Tentukan kerma dalam  $v$ .
- (iii) Tentukan dos serapan dalam  $v$ .
- (iv) Hitungkan tenaga foton yang melepaskan dari  $v$ .

(30 markah)

...4/-

4. (a) Nisbah penghidupan bagi sel untuk sinar- $\gamma$  dan zarah neutron masing-masing adalah 0.1 dan 0.01 bagi dos serapan yang sama. Mengapakah nisbah penghidupannya berbeza?  
(25 markah)
- (b) Bincangkan secara ringkas mengenai teori hentaman/sasaran tunggal dan teori multi-hentaman/sasaran tunggal bagi sel maut oleh penyinaran.  
(25 markah)
- (c) Hitungkan pecahan kebolehidupan sel bagi sel yang telah menerima dos 2 Gy. Anggapkan  $D_0$  bagi selnya 1.2 Gy. Bagi kes pertama, anggapkan teori hentaman tunggal/sasaran tunggal dan bagi kes kedua, anggapkan teori dua hentaman/sasaran tunggal diperlukan bagi kesan maut. Juga lakarkan graf berkenaan bagi setiap kes dengan nilai-nilai yang sesuai. Dapatkan dos ambangnya.  
(35 markah)
- (d) Berikan komen terhadap kenyataan 2 Gy pada keseluruhan badan memberi maut pada manusia tetapi perubahan suhu yang berlaku hanya kecil sahaja.  
(15 markah)

**JADUAL NILAI RADIOLOGIKAL**  
*Constants, Units, and Conversion Factors*

721

TABLE A-1  
 Constants, Units, and Conversion Factors

<b>1. PHYSICAL CONSTANTS</b>			
speed of light	$c$	$2.997925 \times 10^8$ m/s	
Avogadro's number	$N_A$	$6.022045 \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>	
Planck's constant	$h$	$6.626176 \times 10^{-34}$ J s	
electronic charge	$e$	$1.60218 \times 10^{-19}$ C	
electron mass	$m_e$	$9.109534 \times 10^{-31}$ kg	
proton mass		$1.672649 \times 10^{-27}$ kg	
neutron mass		$1.674954 \times 10^{-27}$ kg	
average energy deposited in air per liberated charge	$W$	$33.85$ J/C = $33.85$ eV/ion pair	
density of air	$\rho$	$1.293$ kg/m <sup>3</sup> at STP (0° C, 101.3 kPa) $1.205$ kg/m <sup>3</sup> at NTP (20° C, 101.3 kPa)	
<b>2. RADIATION UNITS</b>			
a. by definition		b. by implication	
becquerel	1 Bq = $1.0$ s <sup>-1</sup>	1 R = $87.33 \times 10^{-4}$ J/kg air	based on
gray	1 Gy = 1 J/kg	= $54.19 \times 10^{15}$ eV/kg air	W as above
roentgen	1 R = $2.580 \times 10^{-4}$ C/kg air $3.336 \times 10^{-10}$ C/cm <sup>3</sup> air at STP		
<b>3. ENERGY CONVERSION FACTORS</b>			
electron volt	1 eV = $1.602192 \times 10^{-19}$ J = $1.602192 \times 10^{-12}$ erg		
	1 MeV = $1.602192 \times 10^{-13}$ J		
calorie	1 cal = 4.18 J		
atomic mass unit	1 amu = 931.481 MeV		
electron mass	$m_e = 0.511004$ MeV		
<b>4. RADIATION CONVERSION FACTORS</b>			
rad	1 rad = .01 Gy = 100 erg/g		
curie	1 Ci = $3.7000 \times 10^{10}$ Bq = $3.7000 \times 10^{10}$ s <sup>-1</sup>		
<b>5. USEFUL RELATIONS</b>			
Coulomb's Law	$F = k q_1 q_2 / r^2$ , $k = 8.9875 \times 10^9$ N m <sup>2</sup> /C <sup>2</sup>		
esu	1 esu = $3.336 \times 10^{-10}$ C = 2.082 × 10 <sup>9</sup> electron charges		
Classical radius of electron, $r_0$	$r_0 = \frac{ke^2}{m_e c^2} = 2.81794 \times 10^{-15}$ m		
Classical Thomson scattering coef., $\sigma_0$	$\sigma_0 = 8 \pi r_0^2 / 3 = 66.525 \times 10^{-30}$ m <sup>2</sup>		
1 day	= $1.44 \times 10^3$ min = $8.64 \times 10^4$ s;	1 y = $5.260 \times 10^5$ min = $3.156 \times 10^7$ s	
curie	1 Ci almost equals the activity of 1 g radium		
cumulated activity	1 mCi hr = $1.332 \times 10^{11}$ Bq s	1 mCi day = $3.197 \times 10^{12}$ Bq s	
<b>6. MATHEMATICAL CONSTANTS AND RELATIONS</b>			
$\pi$	= 3.1416,	$e$ = 2.7183,	$e^{-1}$ = .3679, $e^{-.693}$ = 0.5

...2/-

## Compton Coefficients

723

TABLE A-3a - AIR $\bar{Z} = 7.78$ $\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ (at NTP) $3.006 \times 10^{26} \text{ elect./kg}$				TABLE A-3b - WATER $\bar{Z} = 7.51$ $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ $3.343 \times 10^{26} \text{ elect./kg}$							
Photon energy $h\nu$	Interaction coefficients $[\text{cm}^2/\text{g}]$		Average energy transf. abs.		Average stopping power $\bar{S}$ *	Photon energy $h\nu$	Interaction coefficients $[\text{cm}^2/\text{g}]$		Average energy transf. abs.		Average stopping power $\bar{S}$ *
	$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$	$\left(\frac{\mu_{ab}}{\rho}\right)$	$\bar{E}_{tr}$	$\bar{E}_{ab}$			$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$	$\left(\frac{\mu_{ab}}{\rho}\right)$	$\bar{E}_{tr}$	$\bar{E}_{ab}$	
[keV]			[keV]			[keV]			[keV]		
1	3673.	3672.	1.00			1	4083.	4082.	1.00		
1.5	1227.	1226.	1.50		90.1	1.5	1395.	1394.	1.50		105.
2	543.7	542.6	2.00		79.9	2	627.4	626.1	2.00		92.9
3	165.6	164.7	2.98		66.1	3	194.7	193.8	2.99		76.7
4	78.80	77.28	3.92		56.6	4	82.74	81.92	3.96		65.5
5	40.29	39.32	4.88		49.7	5	42.13	41.46	4.92		57.4
6	23.17	22.47	5.82		44.5	6	24.13	23.55	5.86		51.3
8	9.642	9.168	7.61		37.0	8	9.982	9.532	7.64		42.5
10	4.910	4.533	9.23		31.8	10	5.066	4.684	9.25		36.5
15	1.522	1.242	12.2		24.2	15	1.568	1.269	12.1		27.8
20	.7334	.4942	13.5		19.7	20	.7613	.5016	13.2		22.6
30	.3398	.1395	12.3		15.1	30	.3612	.1411	11.7		17.3
40	.2429	.0625	10.3		13.3	40	.2629	.0637	9.70		15.4
50	.2053	.0382	9.31		13.1	50	.2245	.0396	8.82		15.3
60	.1861	.0289	9.33		13.9	60	.2046	.0305	8.96		16.4
80	.1658	.0236	11.4		15.8	80	.1833	.0255	11.2		18.7
100	.1540	.0231	15.0		15.6	100	.1706	.0253	14.8		18.3
150	.1356	.0249	27.6		11.8	150	.1505	.0276	27.5		13.5
200	.1234	.0267	43.4		8.72	200	.1370	.0297	43.3		9.93
300	.1068	.0287	80.8		5.76	300	.1187	.0320	80.8		6.54
400	.0955	.0295	124.		4.46	400	.1061	.0328	124.		5.06
500	.0871	.0297	171.		3.73	500	.0969	.0330	171.		4.22
550	.0836	.0296	195.		3.48	550	.0930	.0329	195.		3.94
662	.0771	.0293	252.		3.07	662	.0857	.0326	252.		3.47
800	.0707	.0288	327.		2.74	800	.0787	.0321	327.		3.10
[MeV]			[MeV]			[MeV]			[MeV]		
1	.0636	.0279	.440		2.47	1	.0707	.0310	.440		2.79
1.25	.0569	.0267	.588	.586	2.25	1.25	.0632	.0297	.588	.586	2.54
1.5	.0518	.0255	.741	.739	2.12	1.5	.0575	.0283	.741	.739	2.39
2	.0445	.0235	1.06	1.05	1.98	2	.0494	.0261	1.06	1.06	2.22
3	.0358	.0206	1.74	1.72	1.86	3	.0397	.0228	1.74	1.73	2.07
4	.0308	.0187	2.46	2.43	1.82	4	.0340	.0207	2.46	2.43	2.01
5	.0275	.0174	3.22	3.17	1.81	5	.0303	.0192	3.21	3.16	1.98
6	.0251	.0164	4.00	3.92	1.81	6	.0276	.0180	3.99	3.91	1.97
8	.0221	.0152	5.64	5.48	1.81	8	.0242	.0165	5.62	5.47	1.96
10	.0205	.0145	7.37	7.10	1.82	10	.0222	.0157	7.33	7.07	1.95
15	.0180	.0135	11.9	11.2	1.86	15	.0193	.0144	11.8	11.2	1.96
20	.0171	.0132	16.6	15.5	1.89	20	.0182	.0139	16.5	15.3	1.97
30	.0163	.0129	26.3	23.7	1.94	30	.0171	.0134	26.1	23.5	1.99
40	.0161	.0127	36.2	31.7	1.98	40	.0167	.0131	36.0	31.3	2.01
50	.0161	.0127	46.1	39.3	2.01	50	.0167	.0130	45.9	38.8	2.02
60	.0162	.0126	56.1	46.6	2.04	60	.0167	.0128	55.8	45.9	2.03
80	.0164	.0124	76.0	60.3	2.08	80	.0169	.0125	75.8	59.2	2.05
100	.0168	.0123	96.1	72.9	2.12	100	.0172	.0123	95.8	71.3	2.06

\*Av. Stopping Power in  $[\text{MeV cm}^2\text{g}^{-1}]$  for the spectrum of electrons produced in the medium by photons of energy  $h\nu$ 

...3/-

TABLE A-4i RADIOLICAL PROPERTIES OF LEAD										
Z=82		$\rho = 11360 \text{ kg/m}^3$		$2.383 \times 10^{26} \text{ elect./kg}$ $2.907 \times 10^{24} \text{ atom/kg}$			A=207.20			
Photon energy $h\nu$	Basic Coefficients in $(10^{-24} \frac{\text{cm}^2}{\text{atom}})$ or $(10^{-28} \frac{\text{m}^2}{\text{atom}})$				Interaction coef. in [cm <sup>2</sup> /g] (To get [m <sup>2</sup> /kg] divide by 10)			Av. energy transferred or absorbed	Stopping power $\bar{S}$ in $\frac{\text{MeV cm}^2}{\text{g}}$	
	$\sigma_{\text{coh}}$ coh.	$\sigma_{\text{inc}}$ incoh.	$\tau$ photo	$\kappa$ pair	$(\frac{\mu}{\rho})$	$(\frac{\mu_{\text{tr}}}{\rho})$	$(\frac{\mu_{\text{ab}}}{\rho})$	$\bar{E}_{\text{tr}}$ $\bar{E}_{\text{ab}}$	$\bar{S}^*$	
[keV]								[keV]		
2.48	3686.	4.278	276000.		812.9	802.1		2.45	14.9	
2.48	3686.	4.280	736200.		2151.	2073.		2.39	14.9	
2.58	3647.	4.477	663300.		1939.	1870.		2.49	15.0	
2.58	3646.	4.479	921300.		2688.	2597.		2.50	15.0	
3.06	3475.	5.385	590700.		1727.	1673.		2.97	15.0	
3.06	3475.	5.386	793400.		2316.	2247.		2.98	15.0	
3.55	3280.	6.262	539600.		1578.	1534.		3.45	15.0	
3.55	3280.	6.263	609000.		1780.	1731.		3.46	15.0	
3.84	3179.	6.780	494399.		1446.	1408.		3.75	14.9	
3.85	3179.	6.782	533600.		1560.	1519.		3.75	14.9	
6	2504.	10.28	167200.		493.3	479.7		5.83	13.7	
8	2035.	13.20	78790.		235.0	226.8		7.72	12.6	
10	1686.	15.75	43960.		132.7	126.8		9.55	11.5	
13	1285.	18.87	21980.		67.68	63.52	63.48	12.2	10.3	
15.2	1095.	20.72	36270.		108.7	80.52	80.43	11.3	9.60	
15.2	1095.	20.72	51139.		151.9	113.5	113.4	11.4	9.60	
15.8	1040.	21.23	45730.		136.0	102.8	102.7	12.0	9.39	
15.8	1039.	21.23	53030.		157.2	119.2	119.1	12.0	9.39	
20	781.5	24.00	28750.		85.91	68.56	68.43	16.0	8.33	
30	455.7	28.69	9745.		29.73	24.93	24.85	25.2	6.64	
50	213.3	33.03	2441.		7.811	6.594	6.556	42.2	4.87	
60	159.2	33.90	1480.		4.863	4.054	4.026	50.0	4.35	
88	83.99	34.49	512.7		1.835	1.444	1.429	69.2	3.44	
88	83.99	34.49	2456.		7.483	2.118	2.096	24.9	24.7	3.42
100	67.57	34.41	1777.		5.461	1.974	1.952	36.2	35.7	3.17
150	32.81	32.90	620.3		1.994	1.075	1.058	80.9	79.6	2.52
200	19.51	31.03	290.5		.9913	.6027	.5902	122.	119.	2.17
300	9.230	27.77	100.5		.3996	.2540	.2469	191.	185.	1.81
400	5.366	25.22	48.33		.2294	.1419	.1371	247.	239.	1.64
500	3.502	23.21	27.93		.1588	.0945	.0909	298.	286.	1.54
662	2.038	20.68	14.59		.1084	.0616	.0589	376.	360.	1.44
800	1.410	19.06	9.549		.0872	.0485	.0461	444.	423.	1.38
[MeV]								[MeV]		
1	.9111	17.19	6.028		.0701	.0386	.0364	.550	.520	1.32
1.25	.5875	15.40	3.987	.0055	.0581	.0322	.0302	.693	.649	1.26
2	.2317	11.98	1.669	1.701	.0453	.0257	.0235	1.13	1.04	1.18
3	.1034	9.437	.8630	3.944	.0417	.0259	.0231	1.86	1.66	1.14
4	.0583	7.878	.5672	5.782	.0415	.0281	.0244	2.70	2.35	1.12
5	.0373	6.805	.4096	7.288	.0423	.0305	.0258	3.60	3.06	1.11
6	.0259	6.016	.3241	8.380	.0429	.0324	.0268	4.54	3.76	1.11
8	.0146	4.922	.2239	10.45	.0454	.0367	.0291	6.47	5.12	1.11
10	.0093	4.193	.1681	12.40	.0488	.0412	.0313	8.45	6.42	1.12
15	.0042	3.103	.1075	15.66	.0549	.0491	.0342	13.4	9.37	1.13
20	.0023	2.491	.0783	18.48	.0612	.0564	.0366	18.5	12.0	1.15
30	.0010	1.814	.0501	22.23	.0700	.0665	.0378	28.5	16.2	1.17
40	.0006	1.441	.0365	24.56	.0757	.0728	.0371	38.5	19.6	1.19
50	.0004	1.203	.0285	26.54	.0807	.0783	.0363	48.5	22.5	1.20
60	.0003	1.037	.0233	27.77	.0838	.0817	.0348	58.5	24.9	1.21
80	.0001	.8176	.0170	29.83	.0891	.0875	.0324	78.6	29.1	1.23
100	.0001	.6786	.0133	31.53	.0937	.0923	.0304	98.6	32.4	1.24

\* Av. Stopping Power in [MeV cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>] for the spectrum of electrons produced in the medium by photons of energy  $h\nu$