

الوقاية الإشعاعية

المبادئ والتطبيقات

أعداد وتأليف

الدكتور المهندس

مصطفى محمد عبدالمهدي المجالي

مقدمة المؤلف

منذ اكتشاف العالم رتجن للأشعة السينية في العام 1895 وما تبعه من تطورات في مجال استخدام التقنيات الإشعاعية والنوية بشكل مضطرب في مختلف نواحي الحياة ، ونتيجة لهذا التوسع في الاستخدامات النوية عرف الإنسان المخاطر والأضرار المترتبة أو التي قد تترتب على هذا الاستخدام لهذه التقنيات . وبنفس الوقت ، أدرك الإنسان أيضا المخاطر والأضرار التي يتعرض لها أو قد يتعرض لها نتيجة تعرضه للإشعاع الطبيعي الناتج عن المصادر الطبيعية والصناعية للإشعاع ، وبالتالي فقد سعى الإنسان لتطوير الوسائل والمعدات والإجراءات التي توفر له الحماية والسلامة أثناء استخدام هذه التقنيات . هذا الإدراك لنوع ومقدار هذه المخاطر لم يأتي دفعة واحدة ولكن بعد دراسات وأبحاث ومتابعة حثيثة ابتداء بدراسة ماهية الإشعاع ومصادره وطرق تفاعله مع المادة وسلوكه الفيزيائي ومقدار الضرر الذي يحدثه . وكتيجة حتمية للتطور والتقدم في الاستخدام ، كان من الضرورة التطور والتقدم في أساليب وطرق الوقاية من الإشعاع والحد من إثاره السلبية . ومن هنا كان من الضرورة إيجاد التشريعات والقوانين والعلوم والأدوات للحد من هذه الآثار المترافقة مع الحاجة الملحة لاستخدام الإشعاع .

بما أن واجب الفيزيائي يقتضي منه تزويد المعنيين بالأمر بالمعلومات الأساسية حول الإشعاع وطبيعته لمعرفة كيفية الحد من تأثيراته وطرق الوقاية منه ، كان حتميا على المعنيين بأمر الوقاية الإشعاعية توظيف هذه المعرفة عمليا وترجمتها فعليا على أرض الواقع لتحقيق الغاية المرجوة من هذه المعرفة . وحتى يتسنى للمستخدمين والمعنيين بهذا الأمر من تنفيذ مقتضيات ومتطلبات عملهم كان من الضرورة توفير مصادر المعرفة من خلال توفير الأراضية المناسبة من المعرفة النظرية ورفدها بالمعرفة التطبيقية والعملية القابلة للترجمة والتطبيق على أرض الواقع وتوضيح العلاقة بين النظرية والتطبيق في هذا المجال . لذا فقد توفرت المبررات الكافية للسعي لجمع هذه المعرفة ومن ثم تطبيقها ومن هنا ولدت فكرة هذا الكتاب .

موقع الفريد في الفيزياء

العالم العربي لم يكن بمنأى عن التطورات التي حدثت وتحديث العالم ومن ضمنها التطور والتوسع في استخدام التقنيات النووية والإشعاعية في مختلف نواحي الحياة. فقد اجتهدت - والله الموفق - بوضع هذا الكتاب باللغة العربية ليتناول المبادئ الأساسية للوقاية الإشعاعية وتطبيقاتها من واقع التجربة العملية والمعرفة النظرية استنادا إلى المراجع العلمية والتوصيات الدولية الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية والهيئات العلمية والدولية المختلفة وكما هو متبع في الدول المتقدمة في هذا المجال نظرا للشح في مصادر المعرفة في هذا المجال باللغة العربية.

في بداية هذا الكتاب، تم تناول الموضوع من نواحيه النظرية والمعرفية الأساسية ومن من نواحيه التطبيقية والعملية بشكل يتيح للقارئ الكريم القدرة على تكوين خبرة عملية ممتنة مبنية على الأساس العلمي السليم للحصول على نتيجة مرضية ومتكاملة تؤدي الغرض المطلوب وهو الوقاية والحماية من الآثار الجانبية المترافقة مع استخدام هذه التقنيات مما يؤدي إلى الحد من مقدار التعرض الإشعاعي غير المبرر للعاملين في مجال التقنية النووية والإشعاعية للعامة والبيئة نتيجة الاستخدام الصناعي والطبي لمصادر الإشعاع أو التواجد الطبيعي لها.

تم تقديم المعارف الفيزيائية المتعلقة بموضوع الوقاية الإشعاعية في هذا الكتاب أيضا، مدعمة بالمعادلات والأمثلة النظرية والرسوم البيانية والتوضيحية بشكل محدث وموضوعي مرتبط بالواقع العملي للممارسات النووية والإشعاعية في المجالات الطبية والبحثية والتطبيقات الصناعية الأكثر شيوعا وانتشارا في وطننا العربي. وبالإضافة إلى هذا تم التطرق بشكل مفصل وموضوعي لواقع الممارسة الإشعاعية مدعمة كذلك بالرسوم البيانية والصور التوضيحية من الواقع العملي للممارسة الإشعاعية ذاتها بالإضافة إلى الأمثلة العملية والحلول الواقعية لبعض المشاكل المتعلقة بموضوع الوقاية الإشعاعية وطرق التعامل الآمنة مع الإشعاع أثناء الممارسة استنادا للمراجع الدولية وتعليمات الممارسة المتبعة في الدول المتقدمة.

وما توفيقني إلا بالله

والله والموفق.

الدكتور المهندس

مصطفى محمد عبدالمهدي المجالي.

INTRODUCTION

All human beings are exposed to ionizing radiation from natural and artificial sources. Exposure to natural radiation arises from both cosmic and terrestrial sources, as well as from natural radioactivity in our food and drink. Throughout history, man has been exposed to natural radiation, and it is impossible to decide whether this radiation has been harmful or beneficial to the human species. In contrast, artificial radiation sources have only been introduced in the last 100 years and although many benefits have been gained from their use (e.g. medical, industrial and agricultural uses), it has been determined that exposure to these sources can be harmful to us. For this reason, a system of radiation protection has been developed to protect people from unnecessary or excessive exposure to ionizing radiation. As the effects of ionizing radiation are better understood, this system is updated to ensure the best possible protection for both radiation workers and for members of the general public.

In general, radiation protection is defined as the science and practice of limiting the harmful effects to human beings from radiation, whether from natural or artificial radiation sources, in medicine, research, general industry, and installations of the nuclear fuel cycle. Therefore, radiation protection is a term applied to concepts, requirements, technologies and operations related to the protection of people (radiation workers, members of the public, and patients undergoing radiation diagnosis and therapy) against the harmful effects of ionizing radiation. It has its origins early in the twentieth century.

The benefits of radiation were first recognized in the use of x-rays for medical diagnosis, soon after the discoveries of radiation and radioactivity. The rush to exploit the medical benefits led fairly soon to the recognition of the other side of the coin, that of radiation-induced harm. In those early days, only the most obvious forms of harm resulting from high doses of radiation, such as radiation burns, were observed and protection efforts focused on their prevention, mainly for practitioners rather than patients. Although the issue was narrow, this was the origin of radiation protection as

a discipline. Over the middle decades of this century, it was gradually recognized that there were other, less obvious, harmful radiation effects such as radiation-induced cancer, for which there is a certain risk even at low doses of radiation. This risk cannot be completely prevented. It can only be minimized. Therefore, the overt balancing of benefits from nuclear and radiation practices against radiation risk, and efforts to reduce the residual risk, have become a major feature of radiation protection.

In general, many health and science professionals require a basic understanding of radiological safety principles, even and particularly if they are not specialists in radiological health, in order to protect themselves from the harmful effects of the ionizing radiation, or to minimize this effect when the risk cannot be completely prevented. Therefore, Radiation Protection – Principle and Applications text book in Arabic is designed for this purpose as well as a resource for safety personnel who also handle radiation safety duties. It is a text of the basic concepts needed in broad-based protection programs, with real-world examples and practice problems to demonstrate principles and hone the worker skills.

Since there is a limitation of the radiation protection books in Arabic language and a much-needed working resource for health physicists and other radiation protection professionals in the Arabic world in light of wide spread of radiological and nuclear application in the Arabic countries, this text book presents clear, thorough, up-to-date explanations of the basic physics necessary to address real problems in radiation protection as well as the basic standards in real practice that are based on international recommendations for safe practice. Designed for Arabic readers with limited as well as basic science backgrounds it emphasizes applied concepts and carefully illustrates all topics through examples and figures as well as practice problems in radiation protection.

This book describes the origins and properties of the different kinds of ionizing radiation, its detection and measurement, and the procedures used to protect humans and the environment from its harmful effects. Many practical, numerical examples are worked out with provided data, tables, and graphs. Descriptions of basic physical principles demonstrate their practical applicability and problem-solving potential. Moreover, this book also describes and deals with the code of the safe practice in

radiation applications such as diagnostic radiology, nuclear medicine, radiotherapy, industrial radiography, radiation protection standards and programs, environmental radiological assessment, safe transportation of radioactive materials and radioactive wastes.

Mustafa Mohamed Majali,

PhD, Nuclear Engineering.

موقع الفريد في الفيزياء

المحتويات

الفصل الأول

الذرة و المادة

1	الذرة.....
1	النواة.....
3	الإلكترونات.....
5	عدد افوجادرو (<i>Avogadro's number</i>).....
6	وحدات الوزن الذري.....
7	الإلكترون فولت.....
7	القوة والطاقة في الذرة.....
9	مستويات الطاقة في الذرة والنواة.....
10	طاقة الربط النووي في النواة.....
11	قيمة Q

الفصل الثاني

الإشعاعات المؤينة والنشاط الإشعاعي

13	المقدمة.....
13	انحلال (انبعاث) ألفا.....
15	انحلال (انبعاث) بيتا.....
17	انبعاث أشعة جاما.....
19	الأشعة السينية X-Ray.....
19	الأشعة السينية المميزة.....
19	الأشعة السينية الانكباحية.....
21	الانحلال الإشعاعي.....
22	النشاطية الإشعاعية.....
24	الانحلال الإشعاعي المتسلسل <i>Serial Radioactive Decay</i>
25	التوازن الإشعاعي <i>Radioactive Equilibrium</i>
25	التوازن الأبدى <i>Secular Equilibrium</i>
26	التوازن الانتقالي <i>Transient Equilibrium</i>
27	عدم التوازن <i>No Equilibrium</i>
27	مصادر الإشعاع.....
28	الإشعاع الطبيعي.....
28	سلاسل الإشعاع الطبيعي.....

32	مصادر الإشعاع الصناعي
35	التنشيط النووي
36	المقطع العرضي للتنشيط (activation cross section)
36	التنشيط النووي بواسطة النيوترونات
36	حسابات التنشيط النووي
38	التنشيط النووي بالجسيمات المشحونة
39	التنشيط النووي بواسطة الفوتونات

الفصل الثالث

تفاعل الإشعاع مع المادة

40	المقدمة
40	طبيعة تفاعل الإشعاع مع المادة
42	تفاعل دقائق ألفا والجسيمات المشحونة مع المادة
43	المدى لجسيمات ألفا والجسيمات المشحونة الثقيلة
45	تفاعل جسيمات بيتا مع المادة
47	مدى جسيمات بيتا
49	تفاعل أشعة جاما وأشعة اكس مع المادة
50	التشتت المترابط
50	التأثير الكهروضوئي
51	تشتت كمبتون
53	الإنتاج الثنائي
55	توهين الفوتونات وامتصاصه
58	الانتقال الخطي للطاقة
59	تفاعل النيوترونات مع المادة

الفصل الرابع

الكواشف الإشعاعية

60	الكواشف الغازية (كاشف حجرة التأين)
62	قياس تيار التأين
64	العداد التناسبي
65	عداد جايجر - ميلر
67	الكواشف الومضية
69	أنبوب المضاعفة الضوئية
70	القدرة التحليلية للكواشف الومضية
71	خصائص الكواشف الومضية

72	كواشف أشباه الموصلات
76	كاشف تشيرنر نركوف
76	أفلام الأشعة
78	الكواشف الومضية الحرارية <i>TLD</i>
79	كواشف الأثر الإشعاعي
80	الكواشف النيترونية
81	الكواشف الأخرى
82	قياسات النشاط الإشعاعي
83	معايرة أجهزة القياس الإشعاعي

الفصل الخامس

القياسات الإشعاعية والوحدات

85	التعرض الإشعاعي (<i>Exposure</i>)
86	الجرعة الممتصة (<i>Absorbed dose</i>)
86	الجرعة المكافئة <i>Equivalent Dose</i>
88	مكافئ الجرعة الفعالة <i>Effective Equivalent Dose</i>
91	حسابات الجرعة الإشعاعية الممتصة
95	الكيرما والاتزان الإلكتروني
96	القياسات الإشعاعية للمصادر النقطية وغير النقطية

الفصل السادس

النيترونات

98	إنتاج النيترونات
100	تفاعل النيترونات مع المادة
101	توهين وامتصاص النيترونات
102	قياس الجرعات الإشعاعية للنيترونات
104	الجرعة الإشعاعية من النيترونات الحرارية
106	الدروع النيترونية
108	الكشف عن النيترونات

الفصل السابع

قياس الجرعات الداخلية والوقاية الإشعاعية

111	المواد المشعة في الهواء والأخذ الداخلي
113	النماذج المرجعية في قياس الجرعات الداخلية
115	طرق حساب الجرعات الداخلية
121	طريقة حساب الانتقال خلال الجسم

128	طرق قياس وتقدير الجرعات الداخلية
130	الإجراءات الطبية في حالات التلوث الداخلي
133	تقدير الخطر الناتج عن الجرعات الداخلية

الفصل الثامن

برامج الوقاية الإشعاعية والمراقبة للأخذ الداخلي للمواد المشعة

135	حدود الجرعات الإشعاعية ومستويات التحقق
136	النماذج المعتمدة للأخذ والانتقال والإخراج للمواد المشعة
136	نموذج الجهاز التنفسي
138	نموذج الجهاز الهضمي
139	النموذج الحركي ونموذج العظام
141	برامج الرصد الشخصي والمكاني والقياس
143	تقدير واحتساب الجرعات الإشعاعية
145	برنامج ضبط الجودة لقياس الجرعات الداخلية

الفصل التاسع

القياسات الإشعاعية للأغذية والبيئة

146	تجهيزات مختبر القياسات الإشعاعية
147	تجهيز مختبر القياسات الإشعاعية
147	جمع العينات وتحضيرها
150	طرق التحليل الإشعاعي للعينات
152	حساب وتحليل الطيف الجامي
154	طرق قياس وتحليل عنصر السترنشيوم ^{90}Sr

الفصل العاشر

قواعد الوقاية الإشعاعية

157	المسافة
161	الزمن
163	التدريب

الفصل الحادي عشر

الدروع الإشعاعية

165	الدروع الإشعاعية لجسيمات ألفا
165	الدروع الإشعاعية لجسيمات بيتا
169	الدروع الإشعاعية لأشعة جاما والأشعة السينية
170	الدروع الإشعاعية للحزمة المنتظمة
172	الدروع الإشعاعية للحزمة غير المنتظمة

177	الدرع الإشعاعية لأجهزة الأشعة السينية
178	حسابات الدروع الإشعاعية الرئيسية
185	الدروع الإشعاعية الثانوية
188	تصميم وحساب الدروع الإشعاعية لأجهزة المسارعات الطبية في الأشعة العلاجية

الفصل الثاني عشر

التعرض المهني وقياس الجرعات الإشعاعية الشخصية

196	التعرض الإشعاعي والممارسة الآمنة
198	حدود الجرعة
199	قياس الجرعات الشخصية
202	اختيار مقاييس الجرعات الشخصية
204	الدقة في قياس الجرعات الشخصية
205	فحص واختبار مقاييس الرصد المهني

الفصل الثالث عشر

معايرة أجهزة المراقبة الإشعاعية والرصد الشخصي

208	المصطلحات الفنية للمعايرة
210	الظروف والشروط المرجعية للمعايرة
212	طرق المعايرة ومعالجة معامل المعايرة
215	معايرة أجهزة قياس الإشعاع الفوتوني
217	معايرة أجهزة قياس جسيمات بيتا
218	معايرة أجهزة قياس النيوترونات

الفصل الرابع عشر

التأثيرات البيولوجية للإشعاع

222	التأثير المباشر للإشعاع
223	التأثير غير المباشر
224	التأثيرات البيولوجية للإشعاع
224	التأثيرات الحادة والحتمية
227	التأثيرات المتأخرة للإشعاع
228	العلاقة بين الجرعة والاستجابة للتأثيرات
229	التأثير الإشعاعي على الجنين والمرأة الحامل

الفصل الخامس عشر

الوقاية الإشعاعية في الأشعة التشخيصية

231	المقدمة
-----	---------

231	أنبوب تصوير الأشعة
233	محددات حقل الأشعة
233	شبكة اختزال الإشعاع المتشتت (Grid)
235	مستقبلات الأشعة وطرق إخراج الصورة (The Image Receptor)
236	الأنواع الأخرى في التصوير الإشعاعي
236	التصوير الطبقي المحوسب (CT)
236	تصوير الثدي
237	أجهزة التصوير الإشعاعي المتنقل
237	أجهزة تصوير كثافة العظام
238	الوقاية الإشعاعية في الأشعة التشخيصية
238	وقاية العاملين
239	وقاية المريض
240	حماية الجمهور
241	الجرعات الإشعاعية في الأشعة التشخيصية
241	الوقاية الإشعاعية في الأشعة التشخيصية وتخفيض الجرعات
243	القياسات الإشعاعية في الأشعة التشخيصية
244	قياس الجرعة ومعدل الجرعة
246	قياس التسرب الإشعاعي للأنبوب الأشعة
248	قياس مستويات الإشعاع في أماكن العمل الإشعاعي ومحيطه
248	الأفلام الإشعاعية والغرف المظلمة

الفصل السادس عشر

الوقاية الإشعاعية في الطب النووي

250	المقدمة
251	التصوير بالجاما كاميرا (Gamma camera imaging)
252	المواد المشعة المستخدمة في الطب النووي وطرق تحضيرها
253	الوقاية الإشعاعية في الطب النووي
253	استخلاص وتحضير المواد المشعة
254	أوضاع التصوير في الطب النووي
255	التعرض الإشعاعي الخارجي والداخلي
255	التعرض الخارجي للعاملين
258	التعرض الإشعاعي الداخلي للعاملين
261	المراقبة الإشعاعية وقياس الجرعات
263	الوقاية الإشعاعية للمرضى

266	الاحتياجات في الطب النووي العلاجي
268	تصميم أقسام وعيادات الطب النووي
269	المختبر الحار منخفض المستوى
270	المختبر الحار متوسط المستوى
270	التخلص من الفضلات المشعة في الطب النووي
271	جدول المواد المشعة المفوضة المستخدمة في الطب النووي
272	جدول المواد المشعة المغلقة المستخدمة في الطب النووي

الفصل السابع عشر

الوقاية الإشعاعية في العلاج الإشعاعي

273	المقدمة
274	طرق وأجهزة المعالجة الإشعاعية
274	العلاج الإشعاعي بالحزمة الإشعاعية الخارجية
274	المسارح الخطي الطبي
274	وحدة العلاج الإشعاعي بالكوبالت
275	العلاج الإشعاعي المجسم (Stereotactic radiotherapy)
277	العلاج الإشعاعي عن قرب Brachytherapy
278	الأجهزة المساندة في العلاج الإشعاعي
279	مبادئ الوقاية الإشعاعية في العلاج الإشعاعي
281	وقاية العاملين والعامّة
282	وقاية المريض خلال العلاج الإشعاعي
283	تقييم المستويات الإشعاعية في العلاج الإشعاعي
284	تصميم وتدريب غرف المعالجة الإشعاعية
285	فحوصات القبول
287	التهيئة و التفويض (commissioning)
289	الوقاية الإشعاعية في العلاج عن قرب (Brachtherapy)
292	تدريب غرف المعالجة في العلاج الإشعاعي عن قرب
293	الاحتياجات الإشعاعية في العلاج الإشعاعي عن قرب (Brachytherapy)

الفصل الثامن عشر

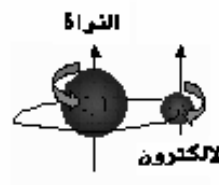
الوقاية الإشعاعية في التصوير الصناعي والتطبيقات غير الطبية

296	المقدمة
297	الوقاية الإشعاعية في التصوير الصناعي
298	مسؤوليات المستخدمين

302	الأجهزة و المصادر الإشعاعية المستخدمة في التصوير الصناعي
303	كاميرا التصوير باستخدام مصدر أشعة جاما
305	أنبوب الأشعة السينية
306	التصوير الصناعي في المواقع الثابتة
308	التصوير الصناعي الميداني
310	الاحتياطات الإضافية في التصوير الصناعي
310	تخزين ونقل المصادر المشعة المستخدمة في التصوير الصناعي
311	الطوارئ الإشعاعية في التصوير الصناعي
314	المقاييس النووية (Nuclear gauges)
316	مواصفات المقاييس النووية
317	متطلبات التخزين والتداول والصيانة والنقل و الطوارئ للمقاييس النووية
321	المراجع
	الملاحق
335	ملحق رقم 1: الجدول الدوري والاختصارات الرياضية للأرقام والقيم
337	ملحق رقم 2: معامل التوهين الإشعاعي
348	ملحق رقم 3 : مدى الجسيمات المشحونة في المواد المختلفة
361	ملحق رقم 4: البيانات النووية للعناصر المشعة المختلفة
	ملحق التعريفات والمصطلحات
	فهرس الكلمات

موقع الفريد في الفيزياء

:



$(10^{-15} m)$

$(10^{-10} m)$

:

$$R = r_0 A^{1/3}$$

:

: A

$$r_0 = 1.3 \times 10^{-15} m$$

$$\rho_n = (2.3 \times 10^{17} kg/m^3) \quad (1)$$

:

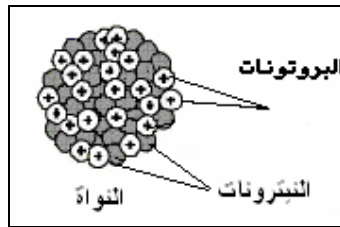
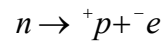
$$(1.6 \times 10^{-19} C)$$

.()

موقع الفريد في الفيزياء



(1):



)

(Atomic Number)

(

(Isotopes)

:

(Isotones)

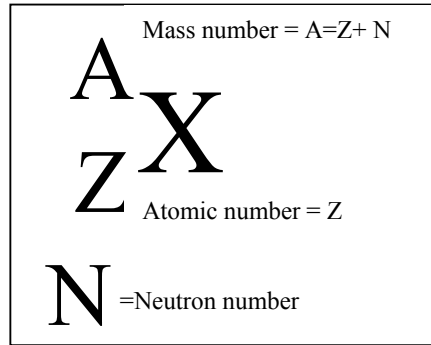
(Isobar)

(Isomers)

^{131m}Xe

[11]

^{131}Xe



^3He

[11]

^2He

$$(R = 1.3A^{\frac{1}{3}} \times 10^{-15} m)$$

$(10^{-15} m)$

20

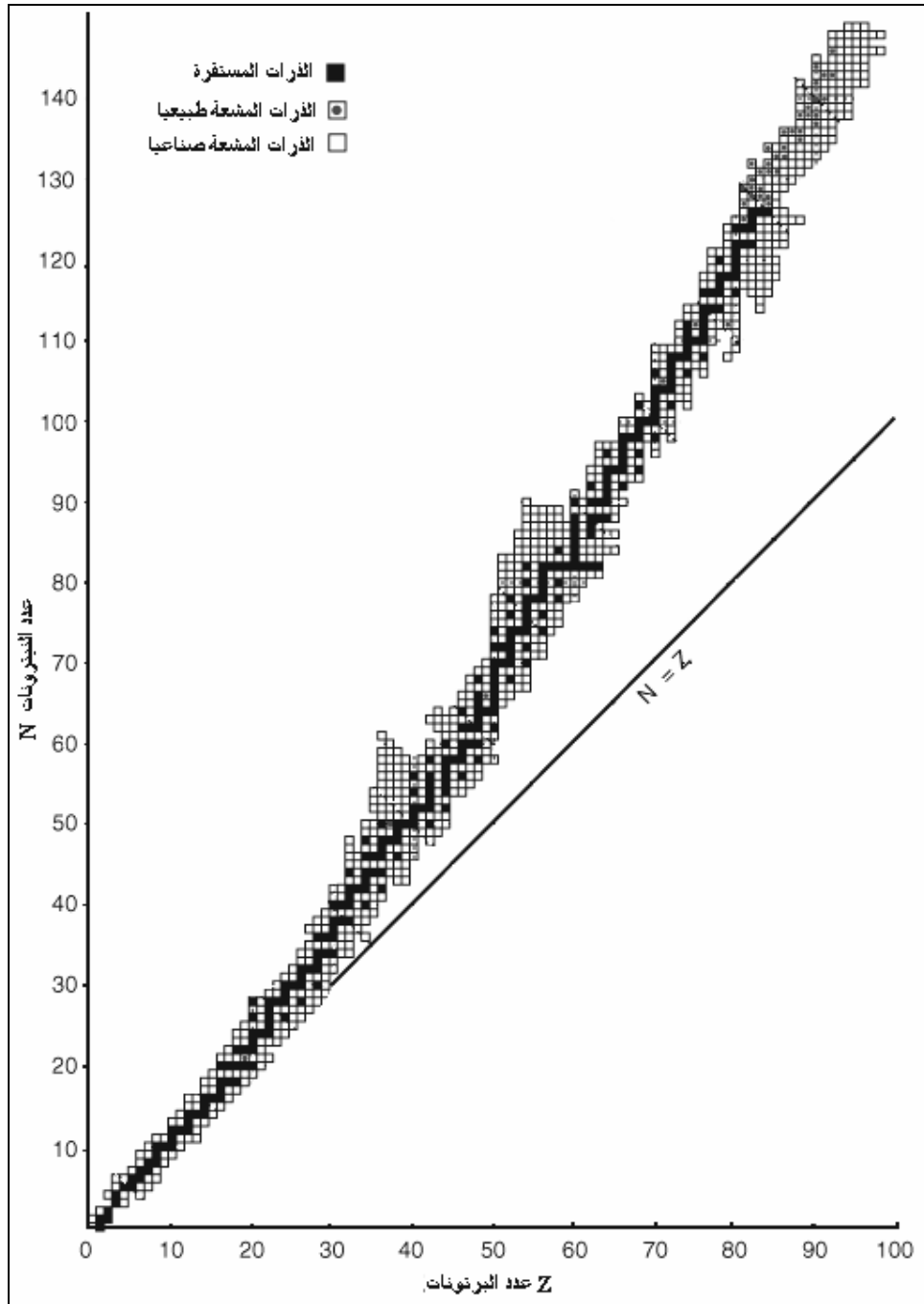
(2)

[118]

:

1840

موقع الفريد في الفيزياء



(2):

(E_f)

(E_i)

:

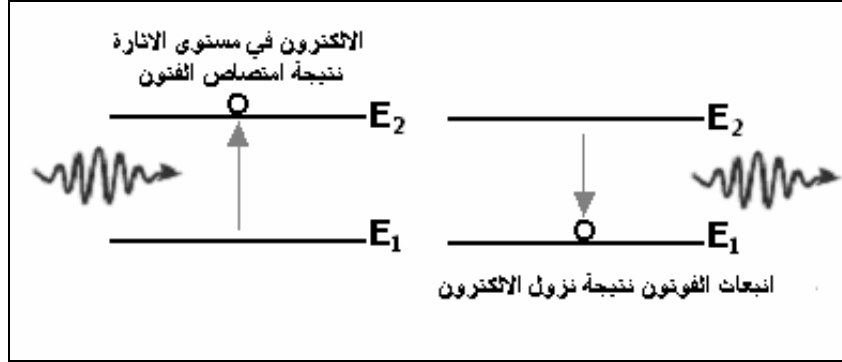
موقع الفريد في الفيزياء

$$h\nu = E_i - E_f$$

$$E_i < E_f$$

$$E_i > E_f$$

(3).



(3):

(Avogadro's number)

:(Avogadro's number)

1811

22.4136

(760)

/ 6.0221367×10^{23}

1.1%

^{13}C

0.1g

12.0107

) 0.1g

5.515×10^{19}

(

CO_2

3.0g

760

25

موقع الفريد في الفيزياء

$$32.0g \quad 2 \quad 16.0g \quad 12.0g$$

$$3.0g \quad 12.0g$$

$$\frac{3}{12} \times 32g_{O_2} = 8.0g_{O_2}$$

$$3/12 \quad CO_2$$

$$: \quad CO_2$$

$$\frac{3}{12} \times 6.022 \times 10^{23} = 1.505 \times 10^{23}$$

$$22.4136$$

$$: \quad 1.505 \times 10^{23}$$

$$22.4136 \times \frac{1.505 \times 10^{23}}{6.022 \times 10^{23}} = 5.42l$$

$$298K \quad 25$$

$$\frac{298K}{273K} \times 5.42L = 5.92l$$

^{12}C

$$1/12 \quad (AMU)$$

$$. \quad 12 \quad 12$$

$$12$$

$$12$$

:

$$C_{\text{mass}} = \frac{12.000g/mol}{6.0221367 \times 10^{23} \text{ atom/mol}} = 1.99926 \times 10^{-23} g/atom$$

$$12$$

:

$$1AMU = \frac{1.99926 \times 10^{-23}}{12} = 1.66 \times 10^{-24} g$$

$$1.672623 \times 10^{-24} g$$

$$1.008664923$$

$$1.674928 \times 10^{-24} g$$

$$1.00727647$$

موقع الفريد في الفيزياء

:

:

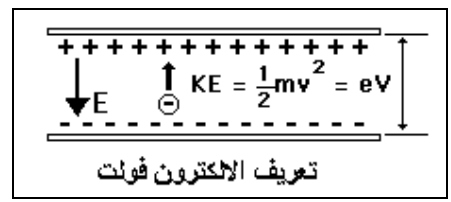
$$eV = q \times V$$

V

q

eV

$$eV = 1.6 \times 10^{-19} C \times 1V = 1.6 \times 10^{-19} J$$



:

$$120$$

$$= eV$$

:

$$h\nu = 120000V \times 1.6 \times 10^{-19} C = 1.92 \times 10^{-14} J$$

:

()

[11]

$$F = \frac{q_1 \times q_2}{4\pi\epsilon r^2} = k \frac{q_1 \times q_2}{r^2}$$

:

موقع الفريد في الفيزياء

$$K = 9 \times 10^9 \frac{N}{m^2 \cdot C^2}$$

$$F_r = \frac{mv^2}{r}$$

(4)

$$F_{centripetal} = \frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

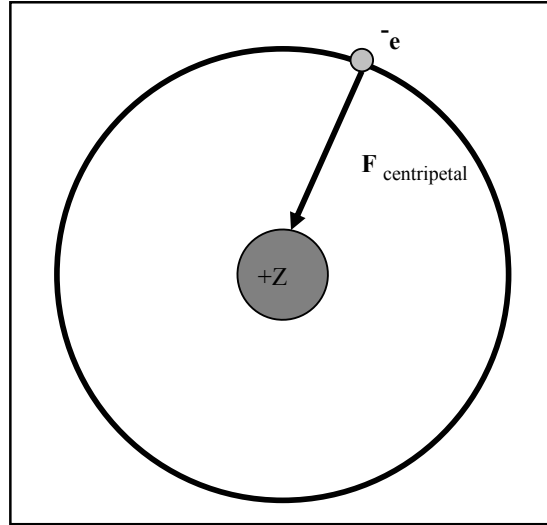
$$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

$$U = \frac{-Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$E = T + U = \frac{Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r} + \frac{-Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \frac{-Ze^2}{8\pi\epsilon_0 r}$$

(4)

موقع الفريد في الفيزياء



:(4)

$$n \quad Z \quad -13.6(Z^2/n^2)$$

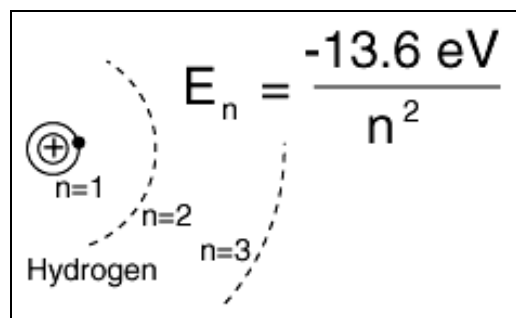
$n = 1$

$$8 \quad L \quad K \quad 2$$

$$[139] \quad 2n^2$$

18

موقع الفريد في الفيزياء



:

$$E_0 = m_0 c^2$$

E_0

(eV)

931MeV

. 0.511MeV

:

:

$$M < m_1 + m_2$$

:

$$m_1 + m_2 \rightarrow M + E_{b(\text{released})}$$

E_b

M ()

m_1, m_2, m_n

:

$$E_b = (m_1 + m_2 - M)c^2$$

$$E_b = \Delta mc^2$$

()

:

:

:

$$\begin{aligned}
 1.00866491 \text{ AMU} &= (&) & 1.00727647 \text{ AMU} = \\
 2.01648996 \text{ AMU} &= & & 0.00054858 \text{ AMU} = \\
 & & & 2.01410178 \text{ AMU} =
 \end{aligned}$$

$$0.00238818 \text{ AMU} =$$

:

$$E_b = \Delta mc^2 = 0.00238818 \times 931.502 \text{ MeV} = 2.2246 \text{ MeV}$$

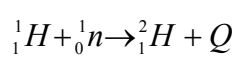
(5)

8.8 (8.8 MeV / nucleon)

: Q

Q

:

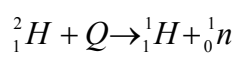


Q

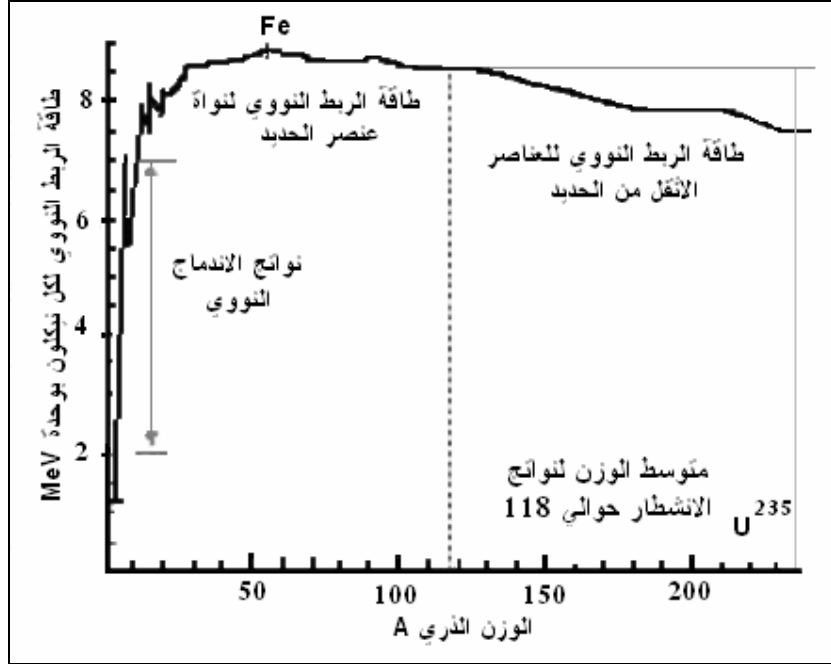
Q

:

Q



موقع الفريد في الفيزياء

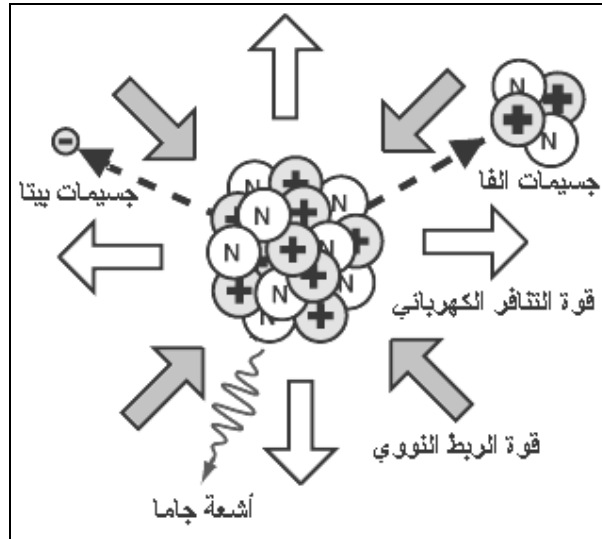


(5):

:

()

(Electron Capture)

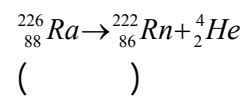


: ()

7000

موقع الفريد في الفيزياء

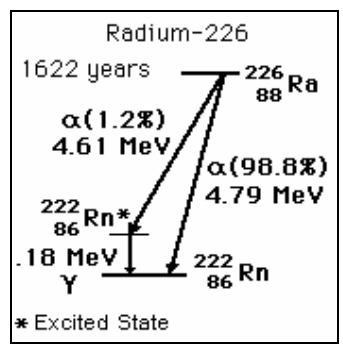
:



:

$$+ < Q$$

(1)



(1)

% 98.8

4.61MeV

% 1.2

4.79MeV

% 1.2

0.18MeV

R

T

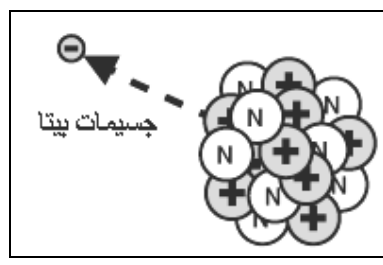
:

$$-\ln T = a + b \ln R$$

موقع الفريد في الفيزياء

: ()

β^+ β^-



1

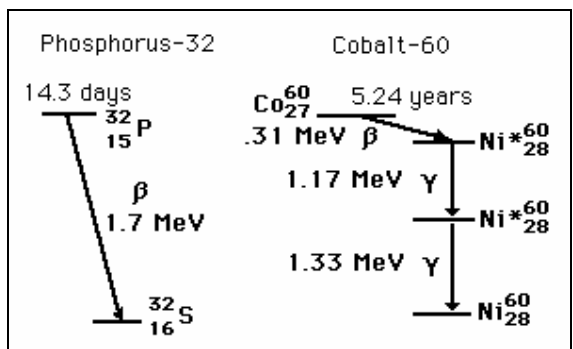
) 1.6 20

(2 -

(Z + 1)

(Z - 1)

[118]



:(2)

^{32}P

(2)

17 15

^{60}Co

موقع الفريد في الفيزياء

16

^{60}Co

28

1.7MeV

0.31MeV

1.17MeV

1.33MeV

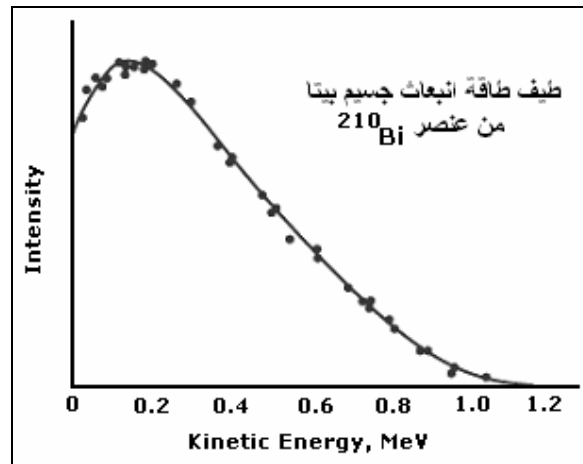
2.81MeV

Q

:

$$Q = M_{\text{Co}} - (M_{\text{Ni}} + m_{e^-})$$

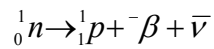
(3)



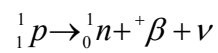
^{210}Bi

:(3)

:



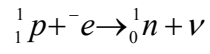
:



موقع الفريد في الفيزياء

K

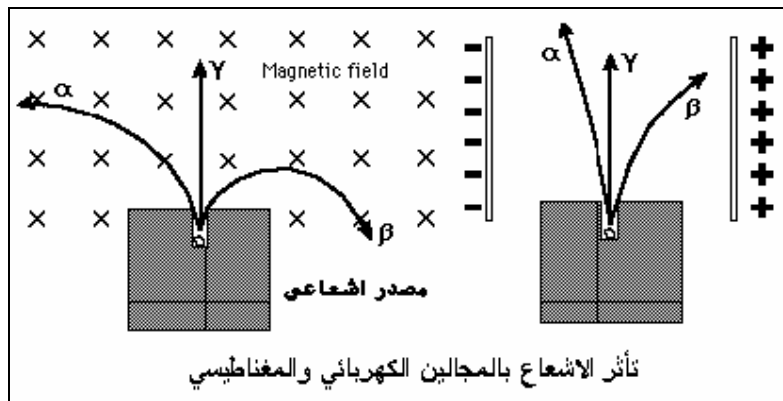
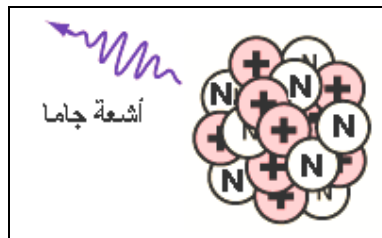
L



Q

[139] L K

:



K

(internal conversion)

موقع الفريد في الفيزياء

$$(E_e = E^* - E_B)$$

[139]

(Gamma Spectroscopy)

10^{-10}

^{99m}Tc

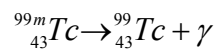
6.01

^{99}Mo

()

(Metastable State)

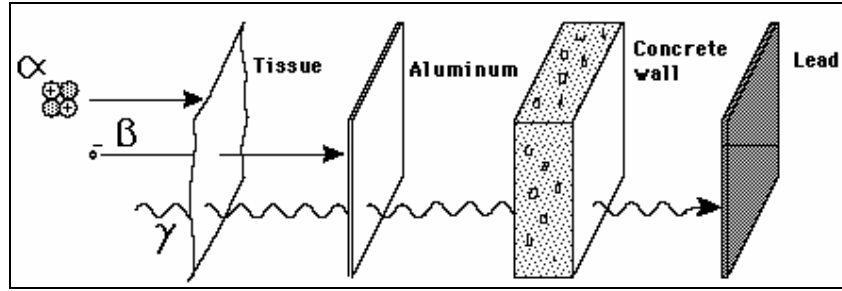
:



(4)

()

موقع الفريد في الفيزياء



:(4)

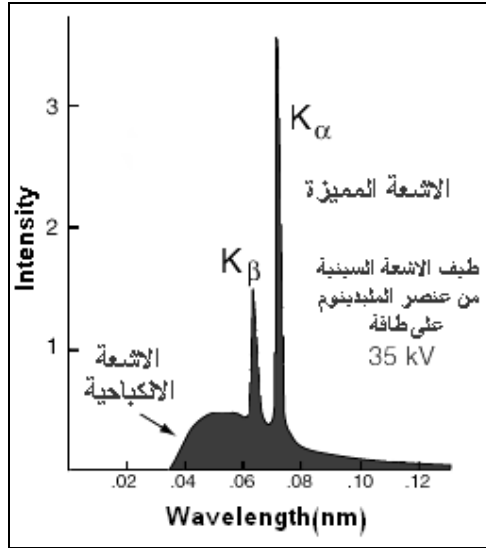
:X-Ray

()

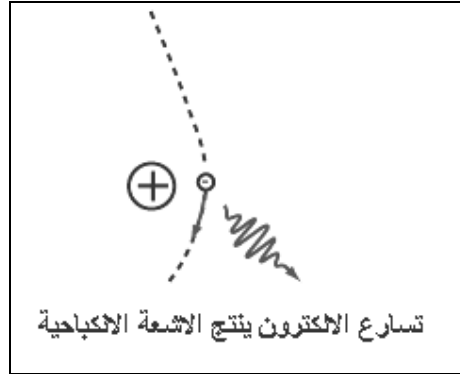
(5)

(Bremsstrahlung)

(6)



(5)



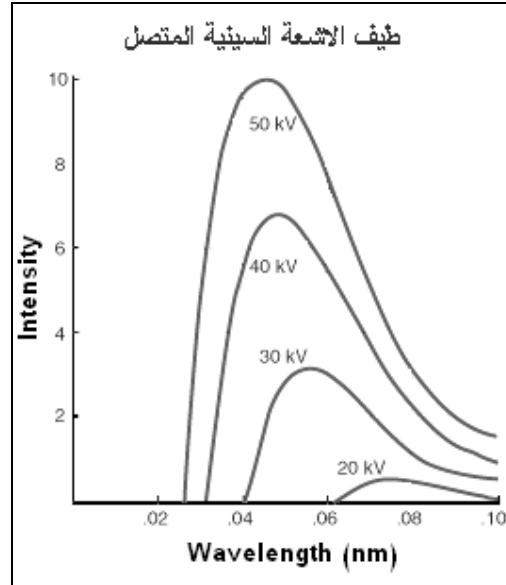
(6)

(7)

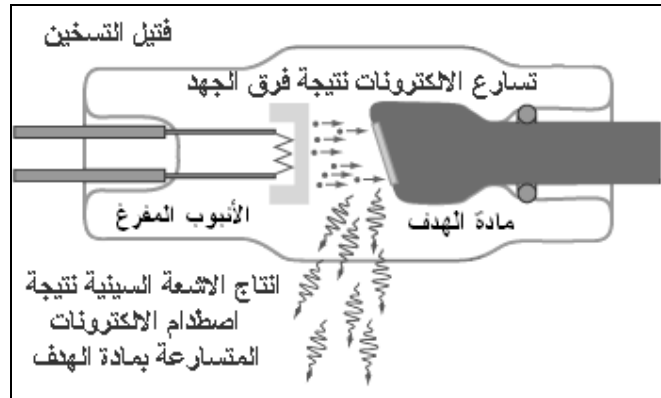
موقع الفريد في الفيزياء

()

(8).



(7):



(8):

N_0

موقع الفريد في الفيزياء

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

() (A)

$$(3.7 \times 10^{10} \text{ Bq})$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

(9)

T

$$N = \frac{N_0}{2}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

موقع الفريد في الفيزياء

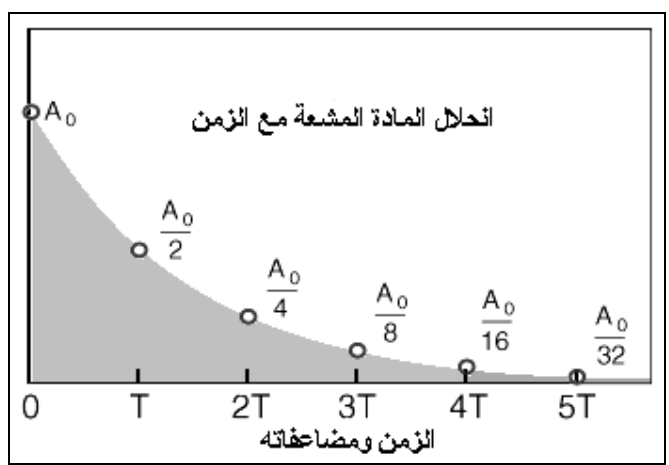
30
15
60
:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0.693}{15h} = 0.0462h^{-1}$$

1.88

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = 30e^{-(0.0426 \times 60h)} = 1.88mCi$$



(9):

	^{131}I	$0.04 \mu Ci$	^{198}Au	$0.1 \mu Ci$
8.05	2.7		21	

موقع الفريد في الفيزياء

$$A_{Au} = 0.1e^{-(0.693 \times 21d / 2.7d)} = 4.56 \times 10^{-4} \mu Ci$$

$$A_I = 0.04e^{-(0.693 \times 21d / 8.05d)} = 6.56 \times 10^{-3} \mu Ci$$

$$A_{Total} = A_{Au} + A_I = 7.02 \times 10^{-3} \mu Ci$$

$$(\quad) \quad (SA)$$

λ

$$: \quad (\quad A \quad) \quad M \quad T$$

$$SA = \frac{6.023 \times 10^{23} \times \lambda}{A} = \frac{6.023 \times 10^{23}}{M \times T}$$

226

: T

$$SA = \frac{1600}{T} \times \frac{226}{A} (Ci/g)$$

: Serial Radioactive Decay

N_2

λ_1 N_1

λ_3 N_3

λ_2

$$N_1 = N_{10}$$

:

$$\frac{dN_3}{dt} = \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_2}{dt} = \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

$$\frac{dN_1}{dt} = \lambda_1 N_1$$

t

:

موقع الفريد في الفيزياء

$$= N_1 = N_{10}e^{-\lambda_1 t}$$

$$= N_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)N_{10}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$$= N_3 = N_{10} \left[\left(1 + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)e^{-\lambda_2 t} - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)e^{-\lambda_1 t}\right) \right]$$

:

$$= N_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)N_{10}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{20}$$

$$= N_3 = N_{30} + N_{20}(1 - e^{-\lambda_2 t}) + \left[\left(1 + \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)e^{-\lambda_2 t} - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}\right)e^{-\lambda_1 t}\right) \right]$$

: *Radioactive Equilibrium*

:

: *Secular Equilibrium*

•

.(10)

λ_2

:

λ_1

$$N_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)N_{10}(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

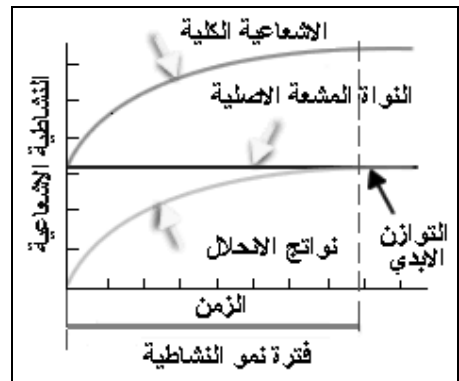
λ_2

:

$$N_2 \lambda_2 = N_1 \lambda_{10}$$

.

موقع الفريد في الفيزياء



(10):

: Transient Equilibrium

$$e^{-\lambda_1 t}$$

$$e^{-\lambda_2 t}$$

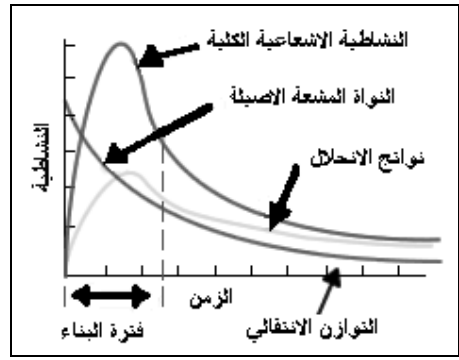
(11)

:

$$N_2 = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) N_1$$

:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\lambda_1 N_1}{N_2 \lambda_2} = \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1}$$

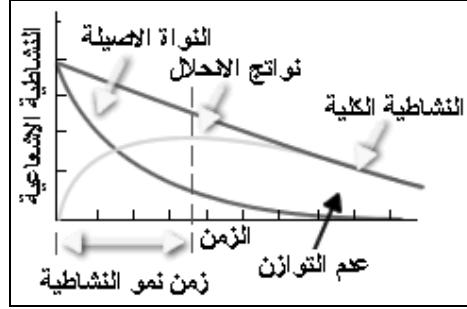


(11)

موقع الفريد في الفيزياء

: No Equilibrium

.(12)



:(12)

:

$$T = \ln 2 / \lambda_E$$

:

$$\lambda_E = \lambda + \lambda_B$$

:

$$T_E = \frac{T \times T_B}{T + T_B}$$

:

موقع الفريد في الفيزياء

.

:

% 1
% 1
% 11
% 87
 $.100GeV$
 $10MeV$

14

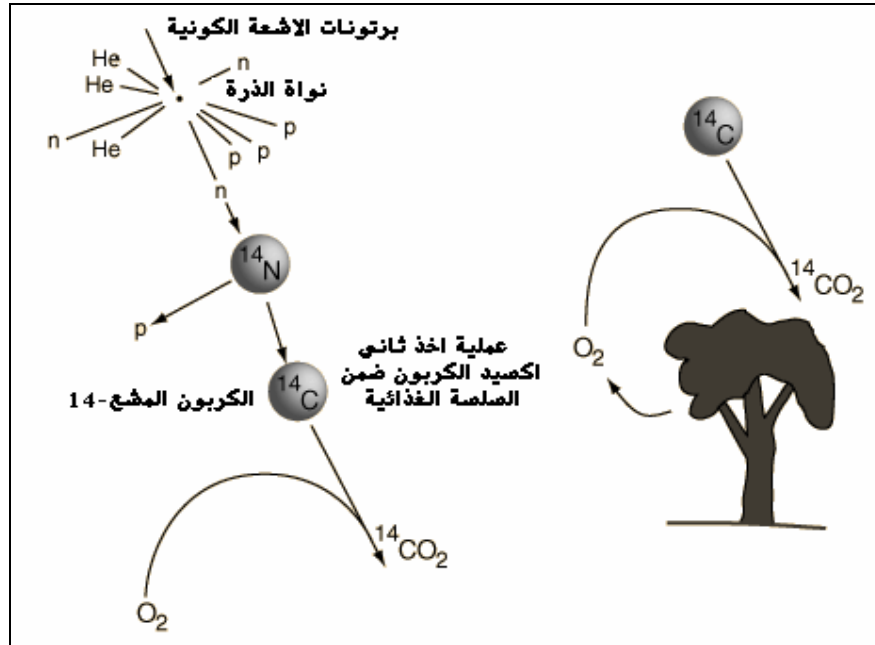
.(13)

.(14)

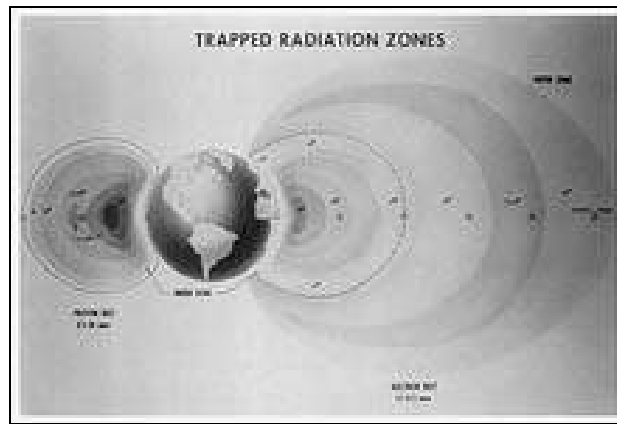
40
40
3000
8000-3000

:

() 235
238
237
232
209
208



:(13)



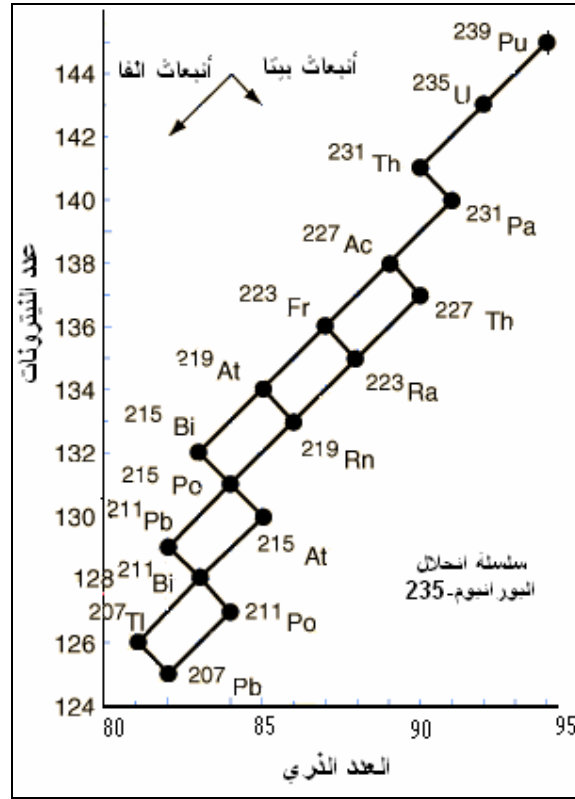
:(14)

3

2.2

(18-15)

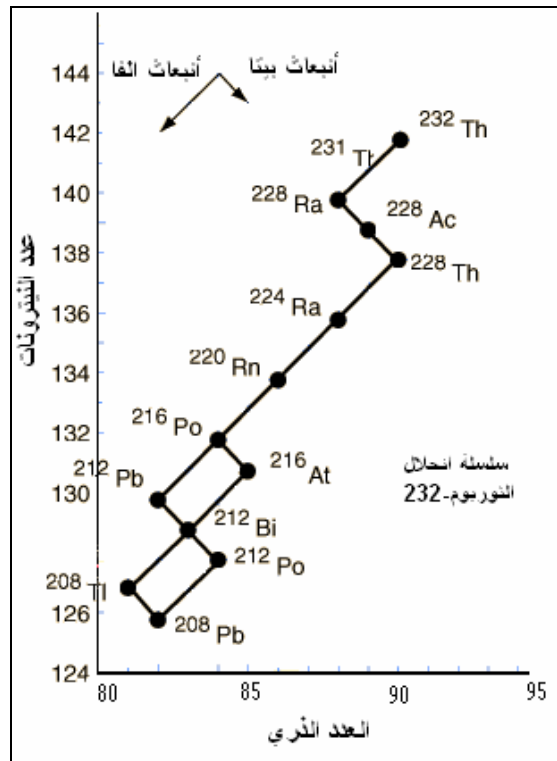
موقع الفريد في الفيزياء



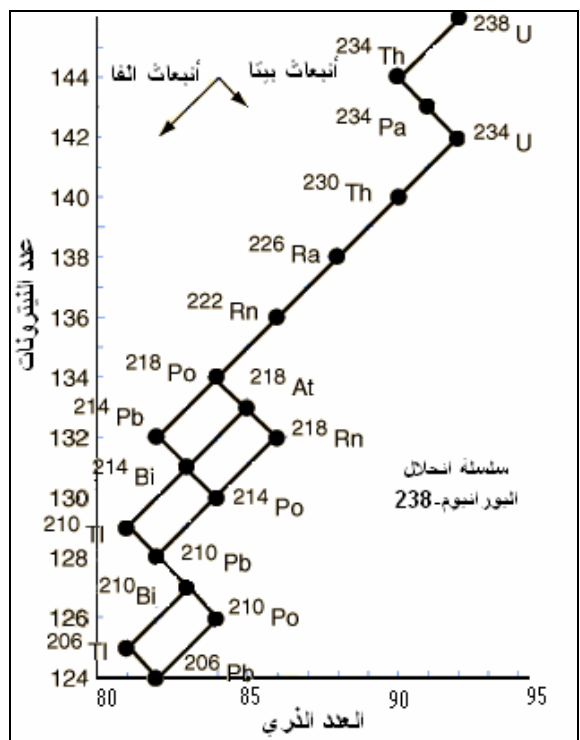
(235) : (15)

40 % 40

موقع الفريد في الفيزياء

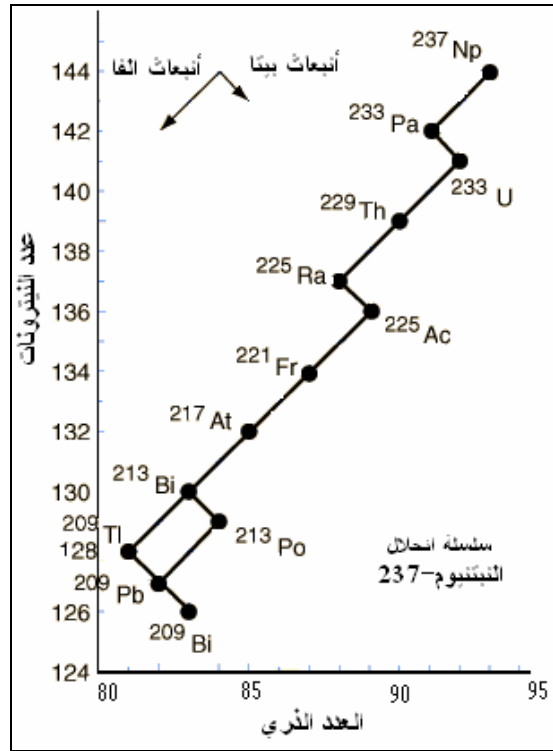


(232) (16):



(238) (17):

موقع الفريد في الفيزياء



(237) : (18)

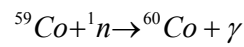
:

^{60}Co

59

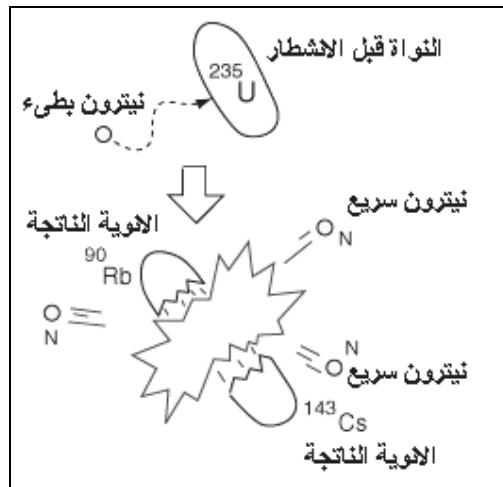
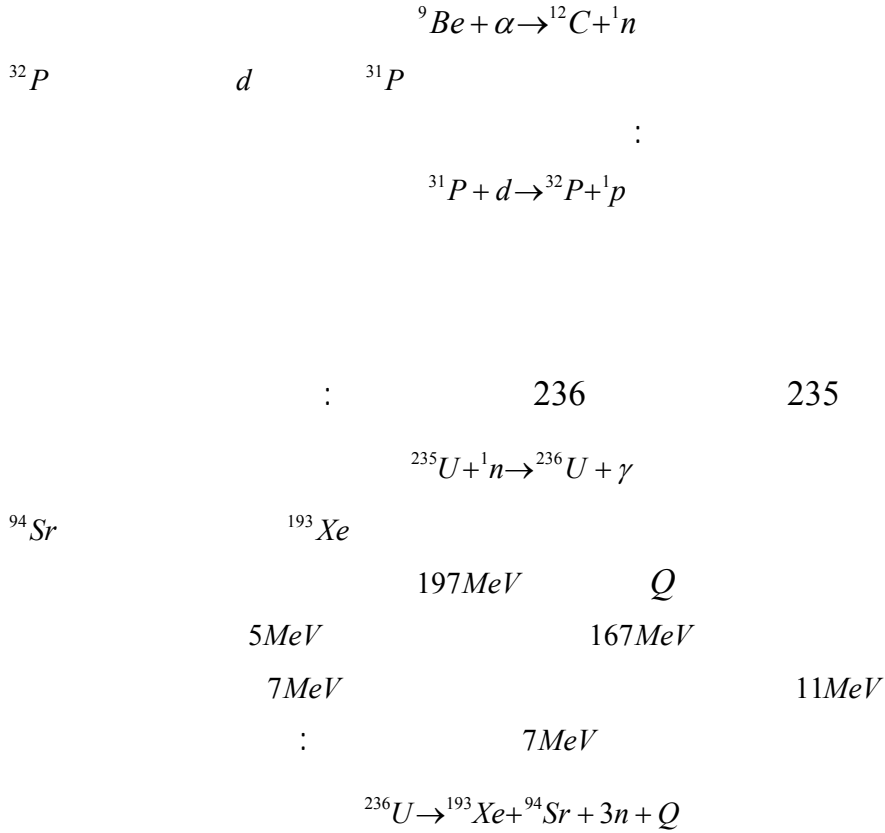
^{59}Co

:



:

موقع الفريد في الفيزياء



.235 : (19)

139

139

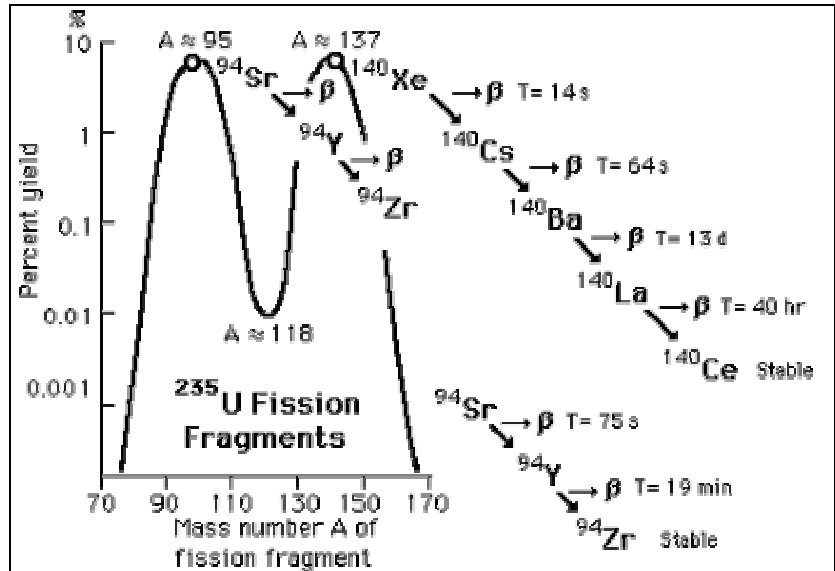
(20)

200

238

250

16



:(20)

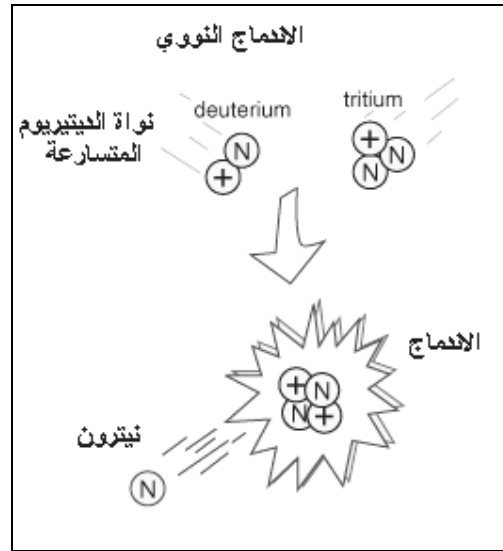
$10^{12} - 10^{16} \text{ neutron / cm}^2 \cdot \text{s}$

()

(21)

:

موقع الفريد في الفيزياء



:(21)

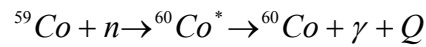
: Activation Cross Section

$$.10^{-24} \text{ cm}^2$$

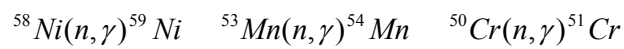
:

:

59



(n, γ) -

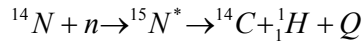


(n, p)

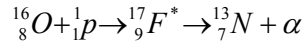
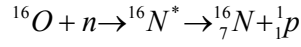
:

(n, 2n)

موقع الفريد في الفيزياء



:



:

$$\sigma \quad \phi(n/cm^2 \cdot s) \quad N_1$$

$$: \quad \quad \quad N_2$$

$$N_2 = \phi \sigma_1 N_1$$

$$N_2$$

$$N_2$$

:

$$\frac{dN_2}{dt} = \phi \sigma_1 N_1 - \lambda_2 N_2$$

:

$$N_2(t) = \frac{\phi \sigma_1 N_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

$$A(t) = \lambda_2 N_2 = \phi \sigma_1 N_1 (1 - e^{-\lambda_2 t})$$

$$(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

:[118]

$$\lambda_2 t$$

$$A(t) = \phi \sigma_1 N_1 \lambda_2 t$$

$$(1 - e^{-\lambda_2 t})$$

1

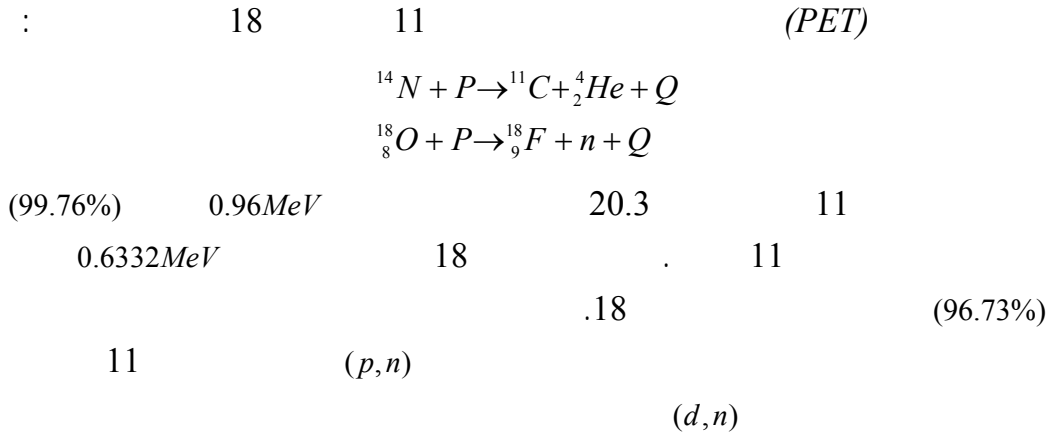
موقع الفريد في الفيزياء

$$\begin{aligned}
 & 10^{12} && 0.1 && : \\
 & && : && 38 \\
 & && 24 && -1 \\
 & && && -2 \\
 & && && : \\
 & && : && \\
 & && {}^{186}\text{W} + n \rightarrow {}^{187}\text{W} + \gamma + Q && \\
 & \% 28.42 && {}^{186}\text{W} && \\
 : & && 0.1 && \\
 N_1 = \frac{0.1\text{g} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ atom / mol} \times 0.2842}{183.85\text{g / mol}} = 9.31 \times 10^{19} \text{ atom} \\
 & && 24 && \\
 & && : && 23.9 \\
 A(24) = 10^{12} \times 38 \times 10^{-24} \times 9.31 \times 10^{19} (1 - e^{(-\ln 2 / 23.9h)24h}) = 1.77 \times 10^9 \text{ d / s} = 47.8\text{mCi} \\
 & && (e^{-\lambda_2 t}) && \\
 & && : && 239 \\
 A(\text{sat}) = 10^{12} \times 38 \times 10^{-24} \times 9.31 \times 10^{19} (1) = 3.54 \times 10^9 \text{ d / s} = 95.7\text{mCi}
 \end{aligned}$$

:

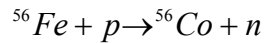
(22)

()



3μA 1μm 1

. 0.6



: % 91.75 7.9

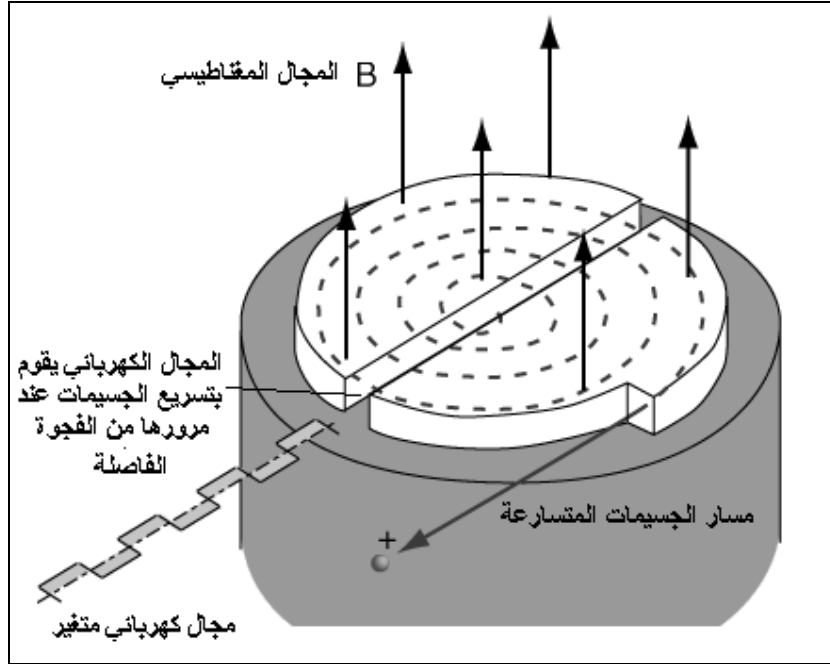
$$N_1 = \frac{(1 \times 10^{-4} \text{ cm}^3)(7.9 \text{ g/cm}^3) \times 6.022 \times 10^{23} \text{ atom/mol} \times 0.9175}{55.845 \text{ g/mol}} = 7.8 \times 10^{18} \text{ atom}$$

: 3 3

$$\phi_p = \frac{3 \times 10^{-6} \text{ C/s}}{(1.6 \times 10^{-19} \text{ C/p}) \times (1 \text{ cm}^2)} = 1.87 \times 10^{13} \text{ proton/cm}^2 \cdot \text{s}$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$\phi_n = (7.8 \times 10^{18})(0.6 \times 10^{-24} \text{ cm}^2)(1.87 \times 10^{13} \text{ proton/cm}^2 \cdot \text{s}) = 8.77 \times 10^7 \text{ neutron/s}$$



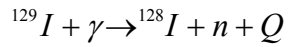
(Cyclotron)

:(22)

(γ, p)

(γ, n), ($\gamma, 2n$)

8MeV



30

25

1013

10MeV

10% [129, 130]

:

:

S

:

dx

dE

$$S = -\frac{dE}{dx}$$

dx

:

$$\frac{-\partial E}{\partial X} = \frac{4\pi z^2 e^4 n}{mc^2 \beta^2} \left[\ln \frac{2mc^2 \beta^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right]$$

موقع الفريد في الفيزياء

m

n

e

z

I

$\beta = v/c$

$$(8.71Z + 52.8) (1.7Z + 11.2) 19$$

$$13 \quad 13-2 \quad 1$$

$$LET = -(dE / dL)$$

dL

dE

[82, 83]

SI

N

$$SI = (dN / dx)$$

33.97

$. dx$

:

$$(34eV / ip)$$

:

4.78MeV

^{226}Ra

:

$$(4.78MeV / 34eV) = 140600ip =$$

Relative stopping power ($S_{rel.}$)

:

$$S_{Al} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{air}} = \frac{2.669g/cm^3}{1.293 \times 10^{-3}g/cm^3} = 2064$$

2100

2100

موقع الفريد في الفيزياء

(Kerma)

(Kinetic energy released in material)

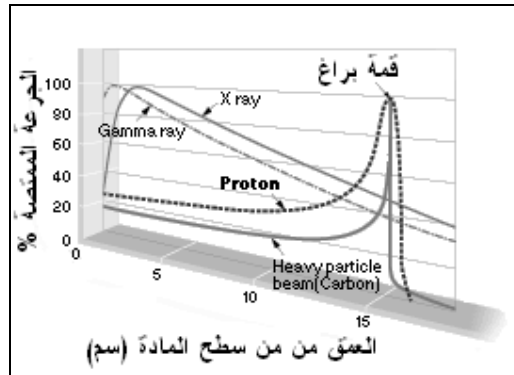
:

80-50

(5-7)MeV

Bragg Peak

(1).



(1):

موقع الفريد في الفيزياء

()

:

(2)

(Straggling)

(3)

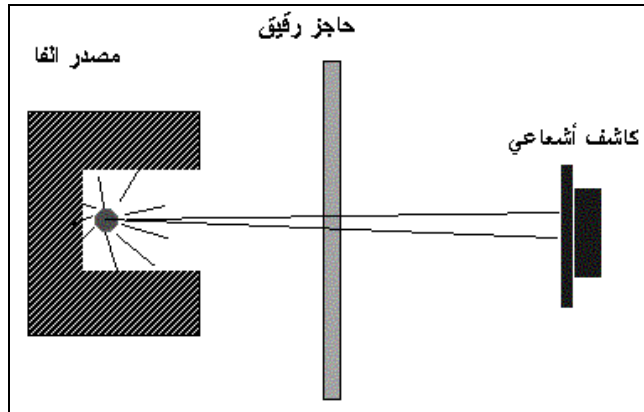
:

$$R(\text{Range}) = 0.325E^{3/2}$$

$$E = 2.12R^{2/3}$$

E

R



(2):

-

:

$$R_m = (\rho_{Al} / \rho_{air}) \times R_a \times \sqrt{\frac{M}{M_a}} = 3.2 \times 10^{-4} \times \sqrt{\frac{M}{\rho_m}} R_a$$

:

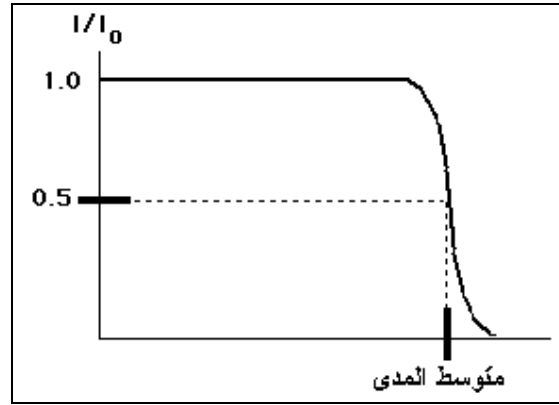
5

2.7

موقع الفريد في الفيزياء

$$R(\text{Range}) = 0.325E^{3/2} = 0.325(5)^{3/2} = 3.6\text{cm}$$

$$R_{Al} = 3.2 \times 10^{-4} \times \sqrt{\frac{27}{2.7}} \times 3.6\text{cm} = 22.2 \times 10^{-4}\text{cm}$$



:(3)

$$R_{\text{tissue}} = \frac{\rho_{\text{air}}}{\rho_{\text{tissue}}} R_{\text{air}}$$

$$R(\beta) = \frac{M}{Z^2} \times R_p(\beta)$$

M

$$\beta = v/c$$

$$R_p(\beta)$$

$$T = Mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$$

(4)

β

$$80\text{Mev} \quad {}^3\text{H}^{2+}$$

3

:

$$Mc^2 = 3 \times 931 \text{ MeV} = 2790 \text{ MeV}$$

:

$$80 = 2790 \left(\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} - 1 \right)$$

$$\beta^2 = 0.055$$

:

$$T = 931 \left(\frac{1}{\sqrt{1-0.055}} - 1 \right) = 26.7 \text{ MeV}$$

$$0.715 \text{ g/cm}^2 \tag{4}$$

:

$$R_{\text{He}}(\beta) = \frac{3}{2^2} \times 0.715 = 0.536 \text{ g/cm}^2 = 0.536 \text{ g/cm}^2$$

$$R = 0.536 \text{ cm}$$

:

$$3.1 \times 10^{-28} \text{ g}$$

[139]

3

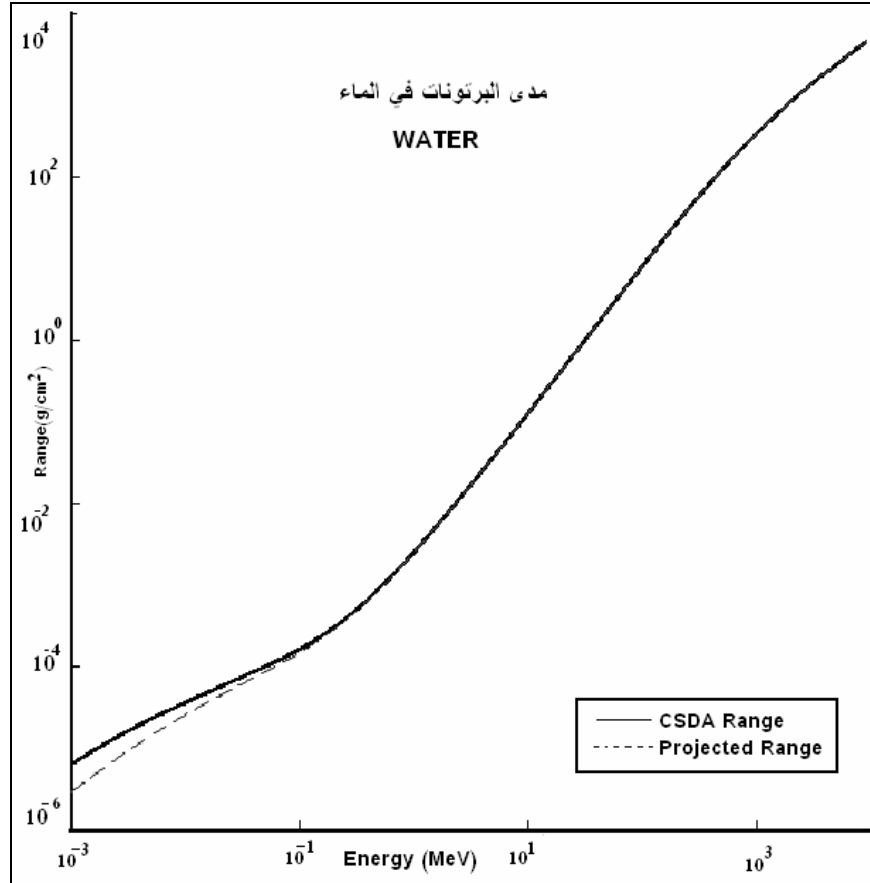
50

100

()

[139]

:



:(4)

$$\left(\frac{-\partial E}{\partial X} \right)_{col.} = \frac{4\pi e^4 n}{mc^2 \beta^2} \left[\ln \frac{mc^2 \tau \sqrt{\tau + 2}}{\sqrt{2I}} + F^\pm(\beta) \right]$$

$$T \quad \tau = T / mc^2$$

$$F^-(\beta) = \frac{1 - \beta^2}{2} + \frac{1}{2(\tau + 1)^2} \left[\frac{\tau^2}{8} - (2\tau + 1) \ln 2 \right]$$

:

$$F^+(\beta) = \ln 2 - \frac{\beta^2}{24} \left[23 + \frac{14}{\tau + 2} + \frac{10}{(\tau + 2)^2} + \frac{4}{(\tau + 2)^3} \right]$$

:

$$\frac{(-dE/dx)_{col}}{(-dE/dx)_{rad}} = \frac{ZE}{800}$$

8

100

[118]

:

$$Y = \frac{6 \times 10^{-4} ZT}{(1 + 6 \times 10^{-4}) ZT}$$

T

Z

:

:

2.5

0.01

$$R = 412E^{1.265 - 0.0954 \ln E}$$

:

$$\ln E = 6.63 - 3.236(10.2146 - \ln R)^{1/2}$$

0.6

:

$$R = 542E - 133$$

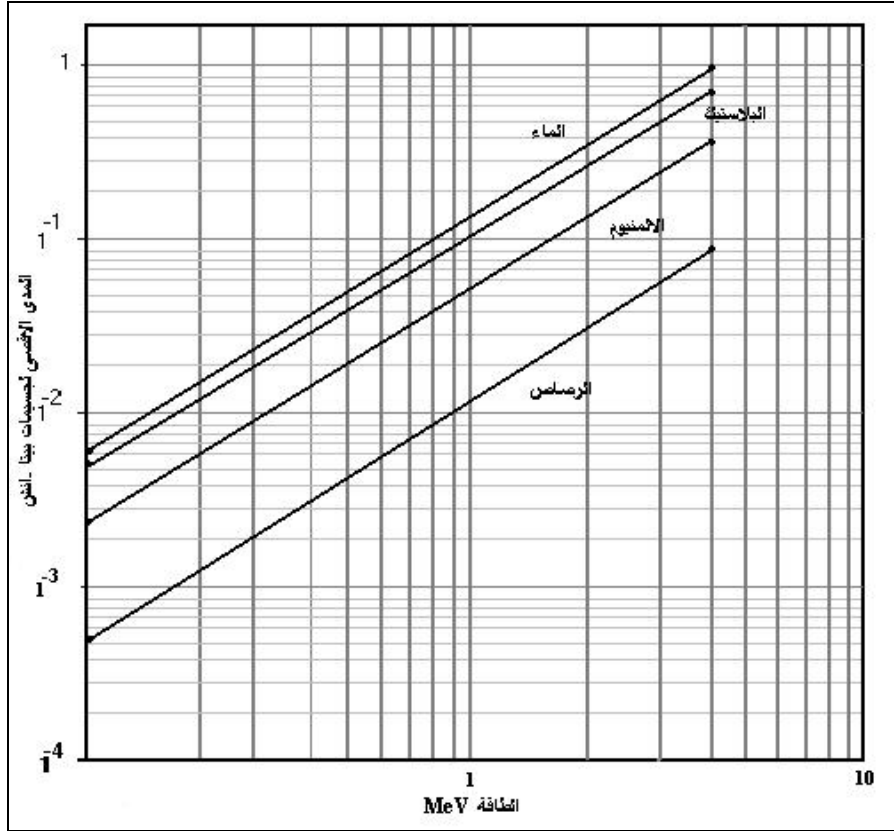
:

2.5

$$R = 0.53E - 0.106$$

(5)

(6)

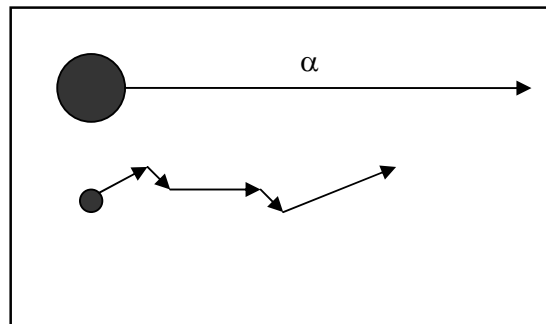


(5)

5

2.2

1.19 g/cm^3



(6)

موقع الفريد في الفيزياء

$$2.2MeV$$

$$R = 412(2.2)^{1.265-0.0954\ln(2.2)} = 1.06g/cm^2$$

$$^2 /$$

$$d = \frac{R}{\rho} = \frac{1.06g/cm^2}{1.19g/cm^3} = 0.891cm$$

$$0.5$$

$$0.465g/cm^2$$

$$0.391$$

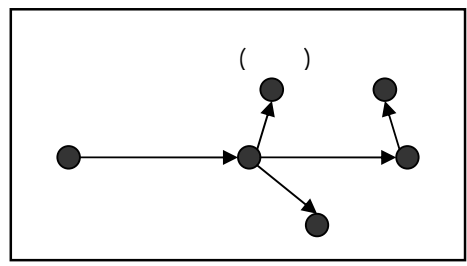
$$\ln E = 6.63 - 3.236(10.2146 - \ln 0.465)^{1/2} = 0.105$$

$$1.11MeV$$

$$.1.09MeV$$

(δ Ray)

.(7)



:(7)

موقع الفريد في الفيزياء

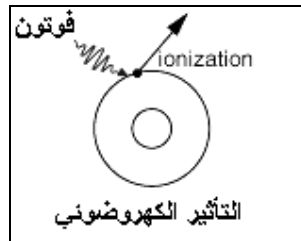
:

:

$$E_b \quad (E_{elc.} = hv - E_b)$$

$$E = hv$$

K, L, M, N



: (8)

. (Auger)

$K \quad L$
 L

موقع الفريد في الفيزياء

() Z^5

$$\tau = K \frac{Z^5}{E^3}$$

K

(0.5–1MeV)

(8)

ϕ

θ

:

موقع الفريد في الفيزياء

$$E = hv \frac{\alpha(1 - \cos \theta)}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)}$$

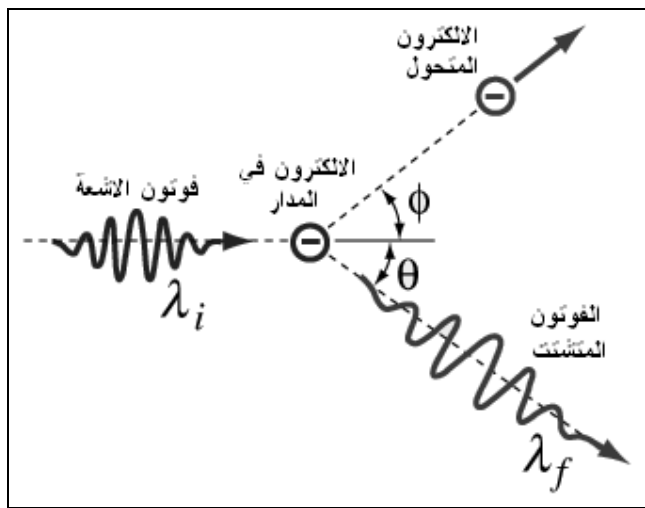
$$hv' = hv \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)}$$

$$hv' : hv \quad \alpha = hv / m_0 c^2$$

$$\cos \phi = (1 + \alpha) \tan(\theta / 2)$$

$$: \quad \lambda_f \quad \lambda_i$$

$$\Delta \lambda = \lambda_f - \lambda_i = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta)$$



(8)

180

$$E_{\max} = hv \frac{2\alpha}{1 + 2\alpha}$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$hv'_{\min} = hv \frac{1}{1+2\alpha}$$

:

90

90

: 90

90

:

90

θ

$$hv' = hv \frac{1}{1 + \alpha(1 - \cos \theta)} = \frac{hv}{1 + \alpha}$$

:

$\alpha \gg 1$

$$hv' = \frac{hv}{\alpha} \rightarrow \text{or} \rightarrow hv' = m_0 c^2$$

$m_0 c^2 / 2$

180

0.255MeV

0.511MeV

[32] 0.255MeV

:

1.02MeV

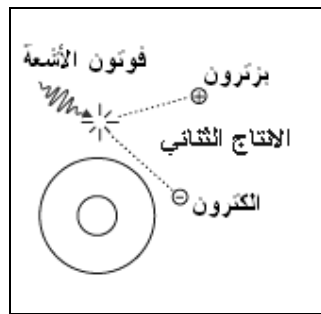
1.02MeV

(9)

1.02MeV

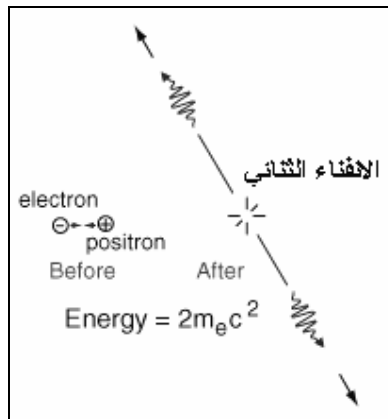
0.511MeV

(10)



(9)

0.511MeV



(10)

موقع الفريد في الفيزياء

:

(I_0)

x

dx

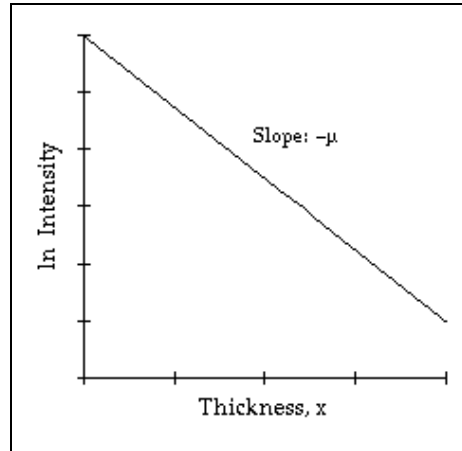
dI

:

$$-\frac{dI}{dx} = \mu I$$

μ

.(11)



:(11)

:

$$\int \frac{dI}{I} = \int -\mu dx$$

:

$$\ln I(x) - \ln I_0 = -\mu x$$

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

μ

:

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa$$

κ, σ, τ

μ_{en}

:

$$\mu_{en} = \mu - (\sigma_s + \kappa_{pp} + others)$$

(μ_{en} / ρ)

cm^2 / g

μ_{en}

μ

(12)

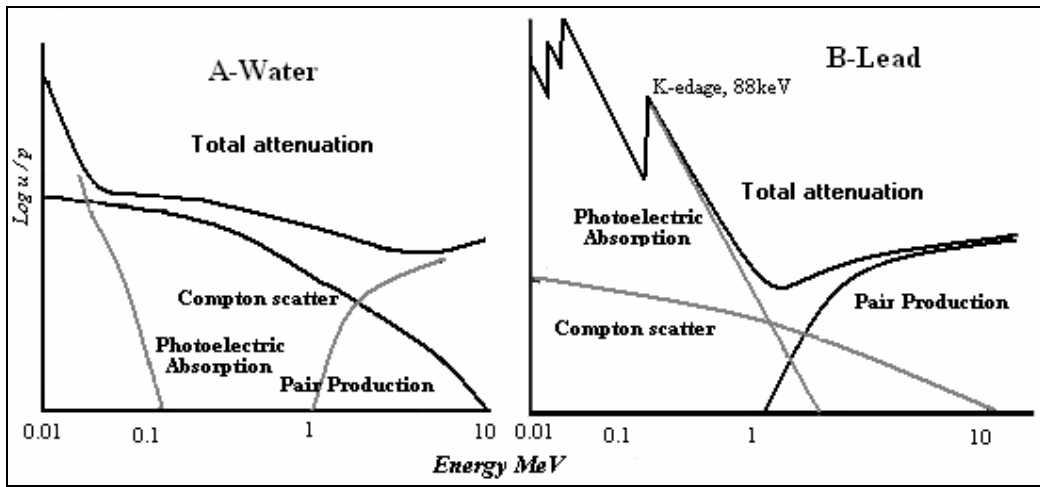
.B

- A

-

A

0.1



:(12)

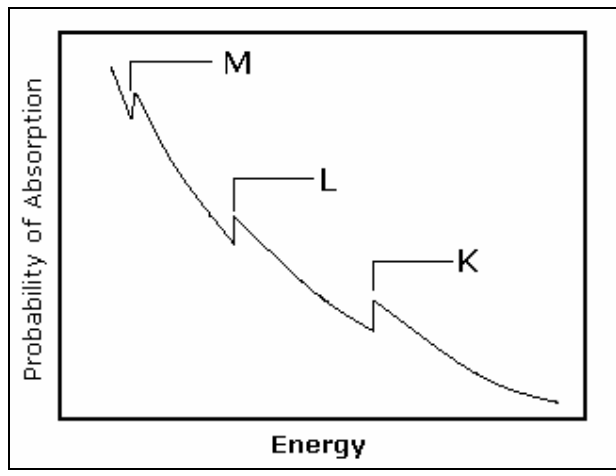
B

K

K

K

.(13)



:(13)

()

μ_{en}

LET

$$LET = -\left(\frac{dE}{dx}\right)_\Delta$$

Δ

Δ

(1)

[83].

(1):

$LET(keV / \mu m)$		(MeV)
		55.2
		7.48
		0.98
		0.152
		0.06
182	13.9	2
101	7.6	3
55.4	4.12	4
38.9	2.87	6
30.1	2.3	8
24.7	1.83	10

:

)

()

(

:()

E

w

() $30-35eV$

1

N

:

$$N = \frac{E}{w} = \frac{1 \times 10^6 \text{ ev}}{35 \text{ ev/ip}} = 2.86 \times 10^4 \text{ ip}$$

(1)

موقع الفريد في الفيزياء

(μ - mobility)

E

v

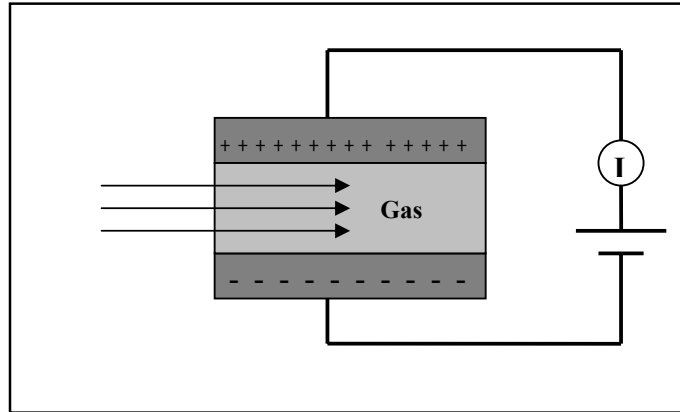
: P

$$v = \frac{\mu E}{p}$$

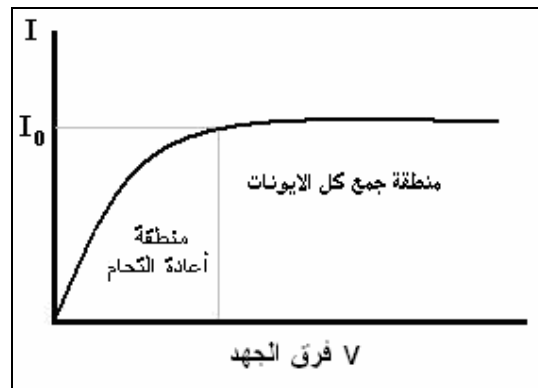
I

I_0

.(2)



: (1)



:(2)

()

μ

(3)

I : R

$$V = IR$$

$Q = CV$

$$Q = Ne^- = CV$$

$\Delta C / C$

C

ΔC

:

ΔV

$$\Delta V = \frac{Q}{C} \times \frac{\Delta C}{C}$$

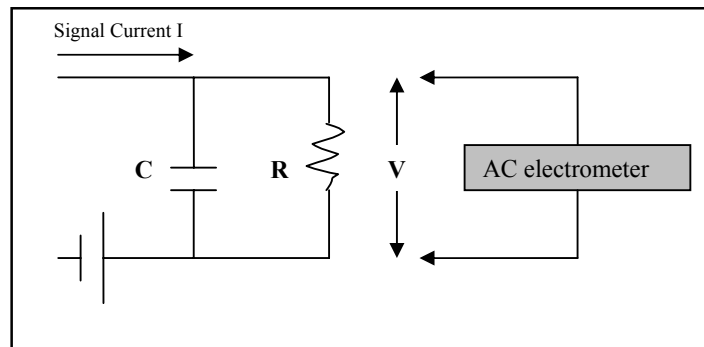
or

$$\Delta V = IR \times \frac{\Delta C}{C}$$

C

ΔQ

ΔV



:(3)

()

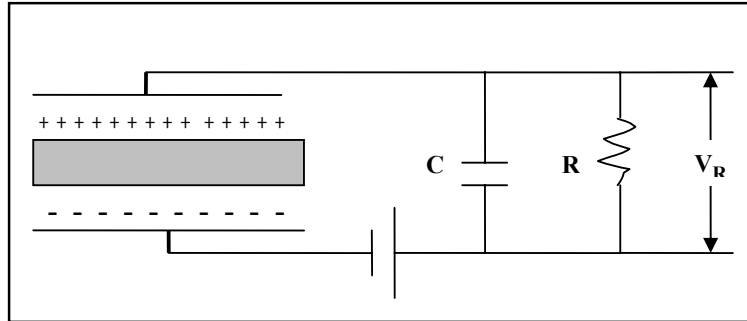
(4)

(3)

موقع الفريد في الفيزياء

: VR (4)

$$IR = V_R + RC \frac{dV}{dt}$$



:(4)

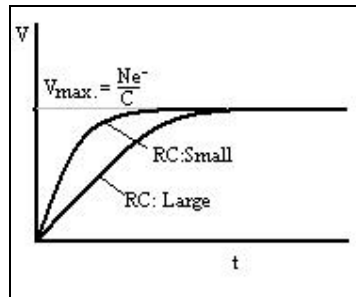
$$V_R = IR(1 - e^{-t/RC})$$

t

RC

$V_{max.}$

.(5)



:(5)

موقع الفريد في الفيزياء

$$E = \frac{V}{d}$$

$$(v = 10^6 \text{ m.s}^{-1})$$

$$(v = 10^3 \text{ m.s}^{-1})$$

$$V = \frac{Ne}{C} \times \frac{x}{d}$$

$$x = vt$$

$$V_{\max} = \frac{Ne}{C} = \frac{(E/w)e^-}{C} = \frac{(2.86 \times 10^4)(1.6 \times 10^{-19})}{10^{-6}} = 4.58 \times 10^{-9} \text{ V}$$

(1)

موقع الفريد في الفيزياء

(1-1000)

(6)

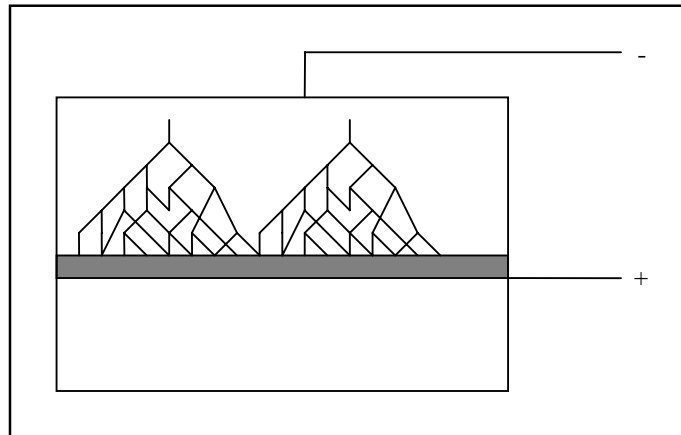
(7)

(6)

2

1

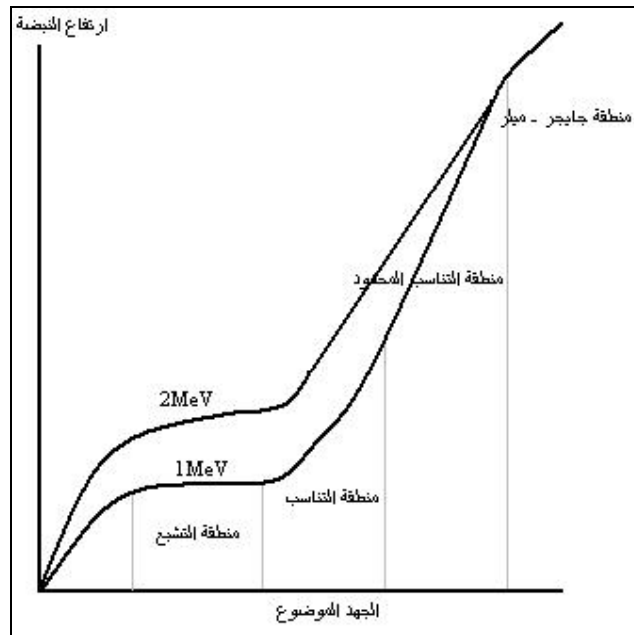
(discharge)



:(6)

: -

(Quenching)



(7):

(dead time)

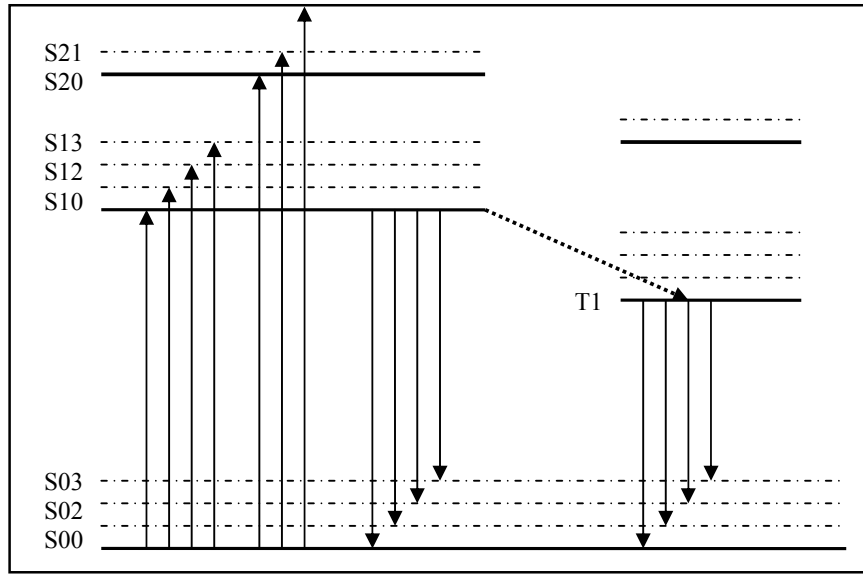
:

$$\begin{matrix} S_n & & S_0 \\ & S_{10} & \\ & & T & S \\ (& &) & \\ & & & (8) \end{matrix}$$

$$(\quad)$$

%100

موقع الفريد في الفيزياء



(8):

()

(9)

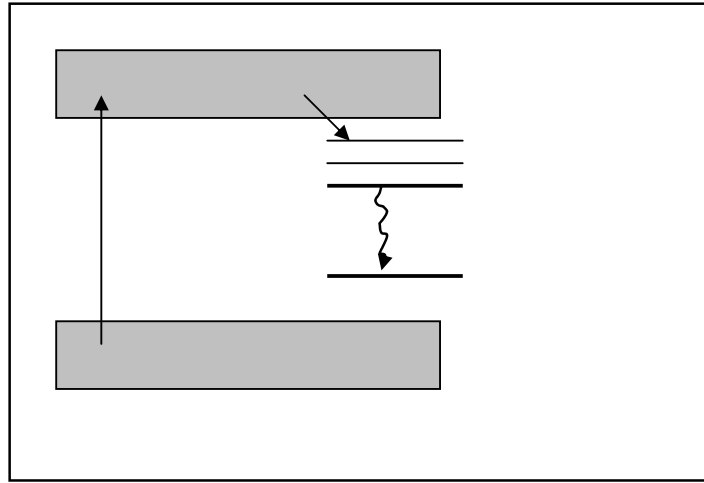
1

20

50

()

موقع الفريد في الفيزياء



(9):

(Photocathode)

(10)

()

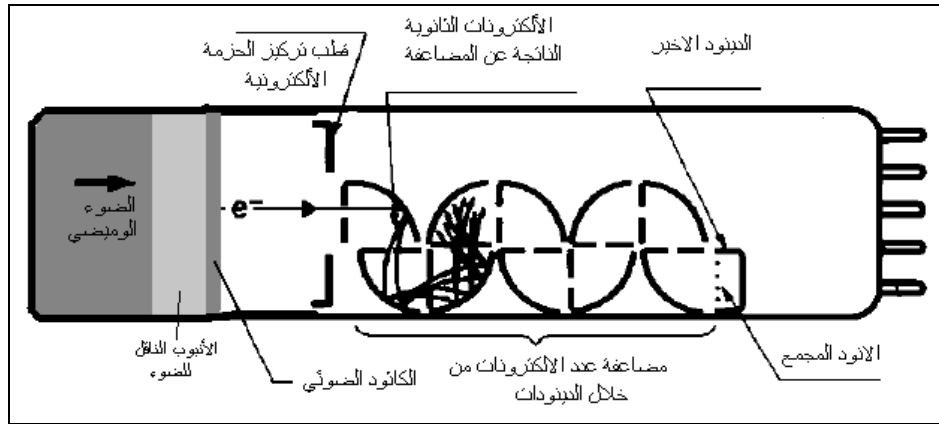
موقع الفريد في الفيزياء

:

Resolution

ΔE

$$R = \frac{\Delta E}{E} \times 100\%$$



:(10)

R

(2% – 20%)

(phoswich)

1

NaI(Tl)

BGO

BGO

()

) 0.511MeV

(

1.022MeV

:

5eV

(11-A)

) E_F

(1/2

.(11-B)

$E_0 + E_G$

(12)

موقع الفريد في الفيزياء

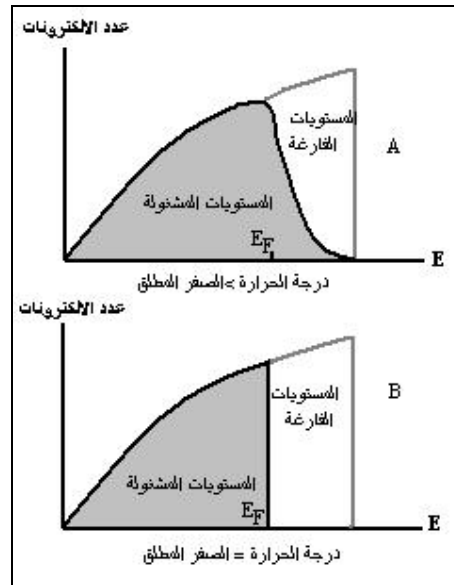
()

1

.(12)

. E_G

$\frac{1}{2} +$



:(11)

(arsenic)

n - type

$.0.013eV$

p - type

موقع الفريد في الفيزياء

$$E_F$$

(p - n Junction) (13)

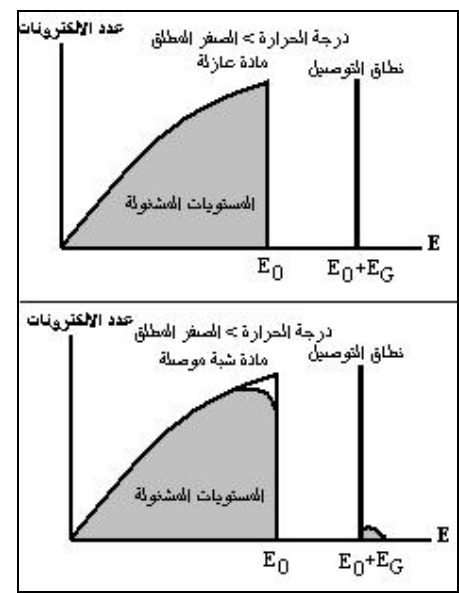
$$0.5$$

n

$$0.5$$

$$\cdot (p - n)$$

()



(12):

n

p

n

p

n

p

p

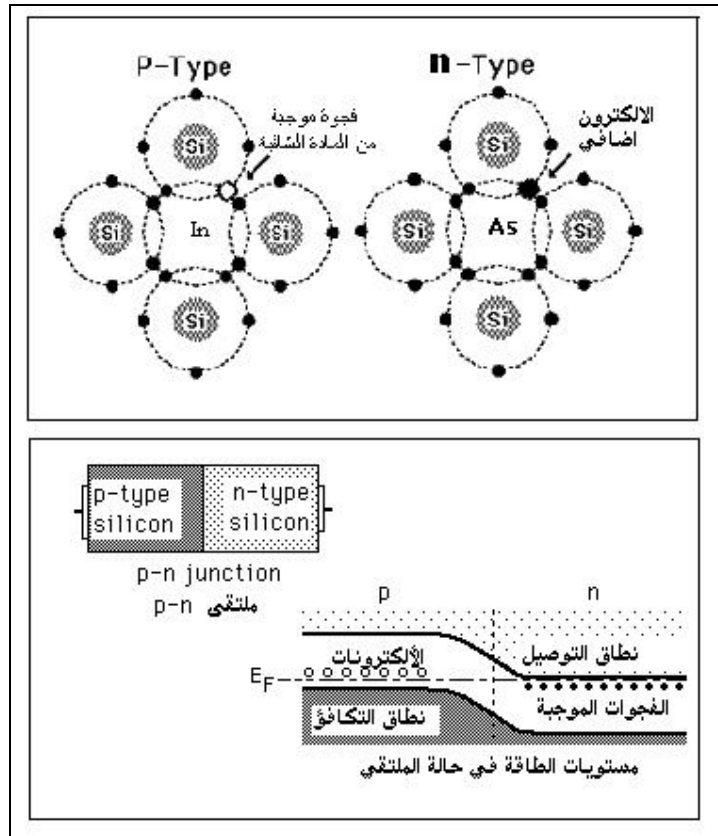
n

()

(SiO₂)

n

p



:(13)

()

n

p

1.8

10

$$-(dE/dx)$$

E

$$E \times \left(-\frac{dE}{dx}\right) = kz^2 M$$

$$E = \frac{1}{2} Mv^2, k = \text{cons.}$$

(Mz^2)

n

$$\beta n > 1$$

$$\beta = \frac{v}{c}$$

موقع الفريد في الفيزياء

:

()

OD

$I \quad I_0$

:

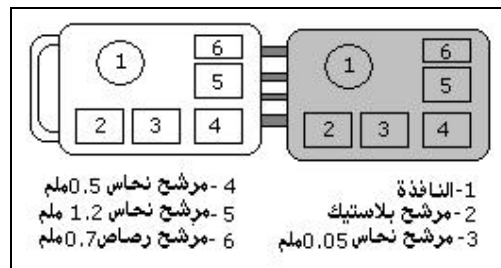
$$OD = \log\left(\frac{I_0}{I}\right)$$

S

S

200

(14)



:(14)

(radiochromic)

100 -3

) 250 50

(

:TLD

300

($CaSO_4 : Mn$)

(LiF)

2

(Mn)

(CaF_2)

موقع الفريد في الفيزياء

$({}^6\text{Li})$	<i>Albedo</i>	(n, α)
300	<i>Annealing</i>	400
		<i>TLD</i> 1.2 - 0.1
1000 (LiF)	0.1	8.1
	.7.4	:

:

(n, γ)

0.5

TLD

Albedo

0.5

2

1.7

0.1

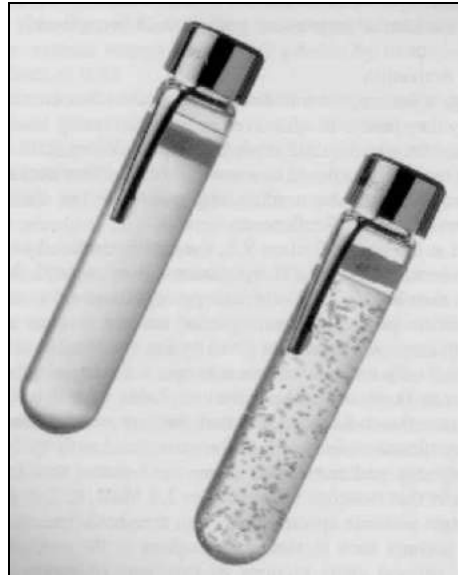
15

:

(15)

.(16)

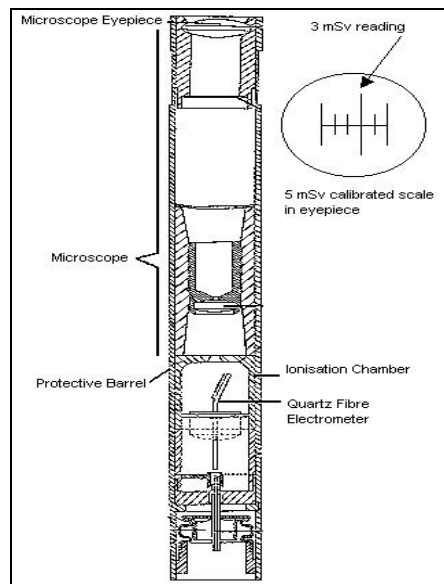
(17)



:(15)



:(16)



() :(17)

:

موقع الفريد في الفيزياء

k

A

N

k_β, k_γ

N_β
 A

N_γ
 $N_{\beta\gamma}$

:

$$N_\beta = \frac{A}{k_\beta}$$

$$N_\gamma = \frac{A}{k_\beta}$$

:

$$N_{\beta\gamma} = \frac{A}{k_\beta \times k_\gamma}$$

$$A = \frac{N_\beta \times N_\gamma}{N_{\beta\gamma}}$$

:

0.7

-

موقع الفريد في الفيزياء

(5)

.241 239 235
(*Po - Be, Ra - Be, Pu - Be*)

()

:
: (*Exposure*)

R

1928

ICRP

$3.336 \times 10^{-10} C$

0.001293

$$R = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

m

Q

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} C/kg$$

:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta m} = \frac{3.34 \times 10^{-10} C}{0.001293 g/cm^3 \times 1 cm^3 \times 10^{-3} kg/g} = 2.58 \times 10^{-4} C/kg = 1R$$

w

34eV

:

$$R = \frac{2.58 \times 10^{-4} C}{kg} \times \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} C/ip} = 1.61 \times 10^{15} ip/kg$$

34

:

$$R = 1.61 \times 10^{15} ip/kg \times 34 ev/ip \times 1.6 \times 10^{-12} \frac{erg}{ev} = 8.76 \times 10^4 \frac{erg}{kg} = 87.6 \frac{erg}{g}$$

87.6

:(Absorbed dose)

85

(rep)

:

$$D = \frac{E}{m} = \frac{J}{kg}$$

$$1Gy = \frac{J}{kg} = \frac{10^7 erg}{10^3 g} = 10^4 \frac{erg}{g} = 100rad$$

:Equivalent Dose

) Q
 (1991 60 w_R

:

$$H = Q \times D$$

:

$$H = w_R \times D$$

:

$$1Sv = \frac{1J}{kg} = 100rem$$

(1) Q

: (1)

$(w_R)=Q$	E		$(w_R)=Q$	LET (keV/ μ m)
5	10 keV		1	3.5
10	keV100-10		2 - 1	7.0 - 3.5
20	keV2000-100		5 - 2	23 - 7.0
10	keV20000-2000		10 - 5	53 - 23
5	MeV20		20 - 10	175 - 53
20				
1			1	

(1)

3.5

175

[83]

:Effective Equivalent Dose

H_E

w_T

$$H_E = \sum W_T \times Q \times D$$

(2)

:(2)

w_T
0.2
0.12
0.12
0.12
0.12
0.05
0.05
0.05
0.05
0.05
0.05
0.01
0.01
0.05

موقع الفريد في الفيزياء

:

$$H_T = \int_{t_0}^{t_0+\tau} H_E(t) dt$$

$$70 \quad \tau \quad H_E \quad t_0$$

:

1

:

$$\phi = \frac{dN}{da}$$

$$\phi_E = \frac{dN \times hv}{da} = \frac{dE}{da}$$

ϕ_E ϕ

$$\phi = \frac{N}{t \times a}$$

:

$$\phi_E = \frac{E}{t \times a}$$

N

$1/r^2$

(1)

3

70) $\mu / \rho = 0.0275 \text{ cm}^2 / \text{g}$

:

$$R = \frac{N \times E(\text{MeV}) \times 1.6 \times 10^{-6} (\text{erg} / \text{MeV}) \times 0.0275 \text{ cm}^2 / \text{g} \times 3600 \text{ s} / \text{h}}{4\pi r^2 (100 \text{ cm} / \text{m}) \times 87.6 \text{ ergs} / \text{g} \cdot \text{R}}$$

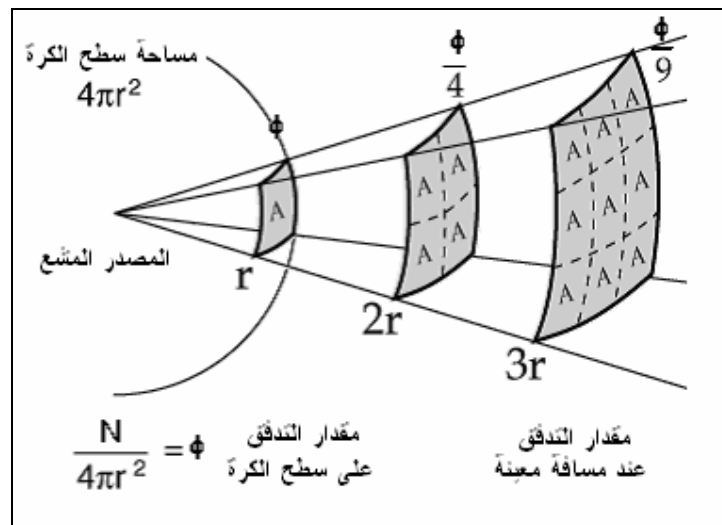
$$= \frac{0.533 \times N \times E}{r^2} (\text{R} / \text{h})$$

موقع الفريد في الفيزياء

N

$$3.7 \times 10^{10}$$

Γ



(1)

137

0.85

0.662

1

1

$$\phi = \frac{1\text{Ci} \times 3.7 \times 10^{10} \text{ p/s} \times 0.85}{4\pi(1\text{cm})^2} = 2.503 \times 10^9 \text{ p/cm}^2 \cdot \text{s}$$

$$E_{\text{abs}} = \phi \times E \times (\mu / \rho) =$$

$$2.5 \times 10^9 \text{ p/cm}^2 \cdot \text{s} \times 0.662 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-6} \text{ erg/MeV} \times 0.0293 \text{ cm}^2 / \text{g} \times 3600 \text{ s/h} = 2.8 \times 10^5 \text{ erg/g.h}$$

3.193

87.6erg / g

1

(3)

0.319

(3)

Γ	
1.37	60
1.427	132
0.592	192
0.319	137
0.759	85

:

$$R = \frac{\Gamma \times A}{(d)^2}$$

d

:

1.12

$S_{rel.}$

:

$$D_{tissue} = S_{rel} \frac{R \times 87.6 \text{erg} / \text{g.s}}{100 \text{ergs} / \text{g.s}}$$

1.12

μ_{en} / ρ

:

1

:

0.319

Γ

(3)

:

موقع الفريد في الفيزياء

$$D_{tissue} = 1.12 \times \frac{0.319 R/h.Ci \times 0.001 Ci \times 87.6 erg/g.s}{100 ergs/g.s} = 0.31 mrad/h$$

0.662

% 85
()

:

$$\phi_E = \phi \times E_p = 1.66 \times 10^2 MeV/cm^2.s$$

0.0323 μ_{en}/ρ

:

$$D_{tissue} = \frac{1.66 \times 10^2 MeV/cm^2.s \times 0.0323 cm^2/g \times 1.6 \times 10^{-6} erg/MeV \times 3600 s/h}{100 ergs/g.rad} = 0.31 mrad$$

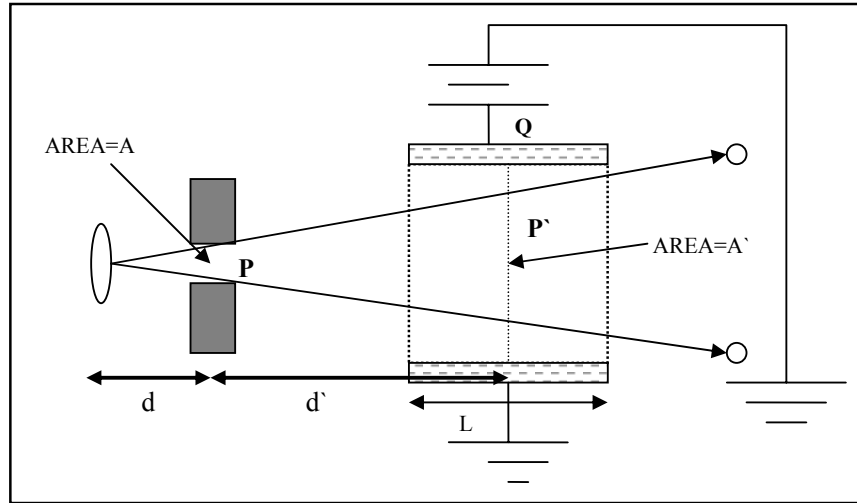
()

()

موقع الفريد في الفيزياء

(2)

P A
 P'
 A' P'
 :



:(2)

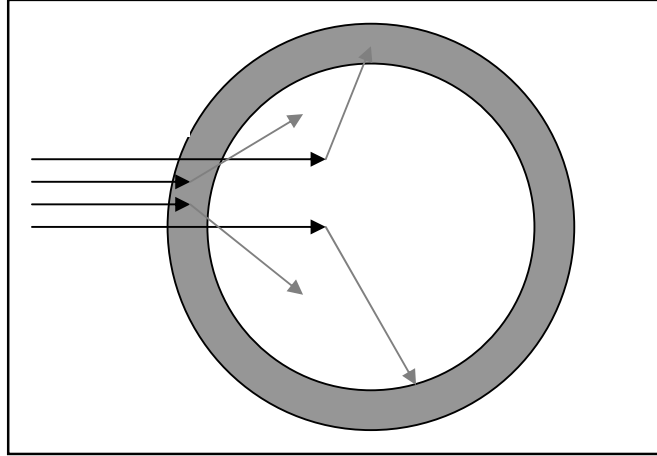
$$R_{P'} = \frac{q}{\rho A' L}$$

P' q
 P' P
 :

$$R_p = \left(\frac{d'}{d}\right)^2 \times \frac{q}{\rho A' L} = \frac{q}{\rho A L}$$

$$A = \left(\frac{d}{d'}\right)^2 \times A'$$

(3).



(3):

$$D_w = D_g = \frac{N_g W}{m}$$

$$D_g = \phi \times E \times \left(\frac{\mu_E}{\rho}\right)_g$$

$$E = N_g \times W$$

w

N_g

33

$(1/\mu)$

3

$$D_{tissue} = \frac{(\mu_E / \rho)_{tissue}}{(\mu_E / \rho)_g} D_g$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$D_w = \frac{(S)_w}{(S)_g} D_g = \frac{E}{m} \times \left(\frac{S_w}{S_g} \right)$$

:

(KERMA : Kinetic energy released per unit mass)

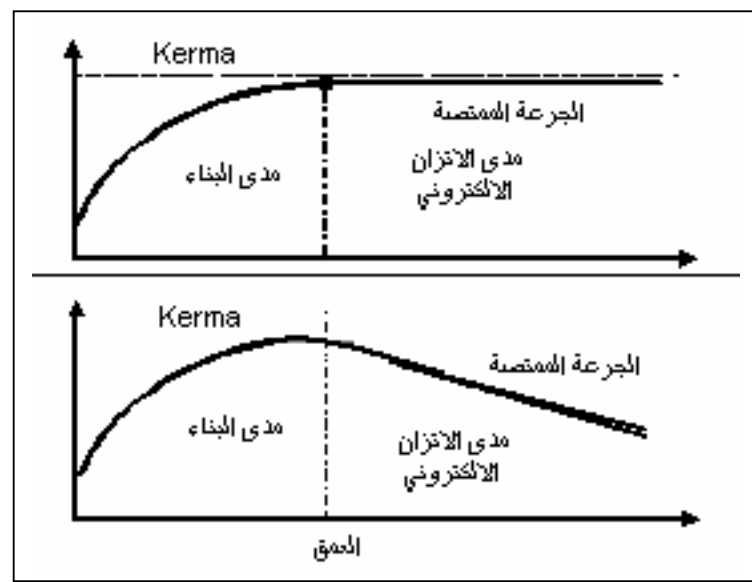
() ()

() (4)

()

)

(



:(4)

1.5

:

$$D_{med} = \phi \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_{med} \times E_{abs.}(hv) \times 1.6 \times 10^{-6} = K(1-g)$$

g K

:

$$K_{air} = \frac{87.6 \times 10^{-3} \times R}{1-g}$$

:

(point kernel)

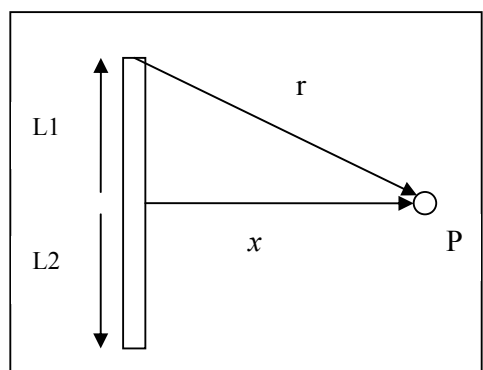
r x

:

$$\phi(x) = \phi_0 \frac{e^{-\mu x}}{4\pi r^2}$$

P S (5) $L_1 + L_2$

:



:(5)

موقع الفريد في الفيزياء

$$\phi_L = \frac{S_L}{4\pi x} \left(\tan^{-1} \frac{L_1}{x} + \tan^{-1} \frac{L_2}{x} \right)$$

$$\therefore 57.3$$

20

2

100

150

$$\phi_L = \frac{20 p/cm.s}{4\pi(100cm)} \left(\tan^{-1} \frac{100ft}{3.281ft} + \tan^{-1} \frac{50ft}{3.281ft} \right) =$$

$$1.6 \times 10^{-2} \left(\frac{88.1^\circ + 86.24^\circ}{57.3^\circ} \right) = 4.9 \times 10^{-2} p/cm^2.s$$

S R

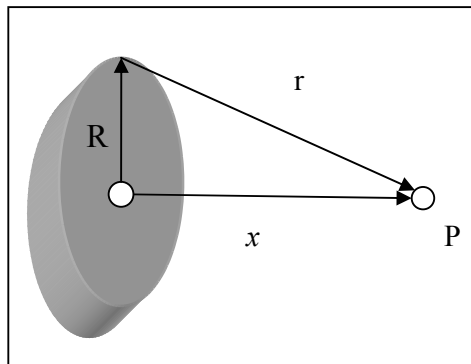
(6)

x P

r P

:

P



:

:(6)

$$\phi_D = \frac{S_A}{4} \ln\left(1 + \frac{R^2}{x^2}\right)$$

$$r^2 = x^2 + R^2$$

$$\phi_D = \frac{S_A}{2} \ln\left(\frac{R}{x}\right) \quad \text{for } R \gg x$$

. 1932

:

.(1)

[118]

(1)

Source	Reaction	Energy Range (MeV)	Average Energy (MeV)
$(^{124}\text{Sb} - \text{Be})$	(γ, n)	*	0.024
$(^{88}\text{Y} - \text{Be})$	(γ, n)	*	0.16
$(^{24}\text{Na} - \text{D}_2\text{O})$	(γ, n)	*	0.22
$(^{24}\text{Na} - \text{Be})$	(γ, n)	*	0.83
(fission)	(n, n)	0-8	2
$(^2\text{H} - ^2\text{H}(D - D))$	(d, n)	*	3.27
$(^{226}\text{Ra} - \text{Be})$	(α, n)	0-8	5
$(^{239}\text{Pu} - \text{Be})$	(α, n)	0-8	4.5
(^{256}Cf)	(SF)	0-10	2.3
$(^2\text{H} - ^3\text{H}(D - T))$	(d, n)	*	14.1

*

*SF: Spontaneous fission**

موقع الفريد في الفيزياء

: ()
 $(^9\text{Be}(d,n)^{10}\text{Be})$ •

: •

10
 : •

: *Spontaneous fission* •
 (2.3×10^{12}) () (^{252}Cf)
 10
 . 2.638

(2)

: (2)

0.0253
0.0253
100 0.0253
10000-100
10 – 0.01
10

(1)

موقع الفريد في الفيزياء

0.0253

/ 2200

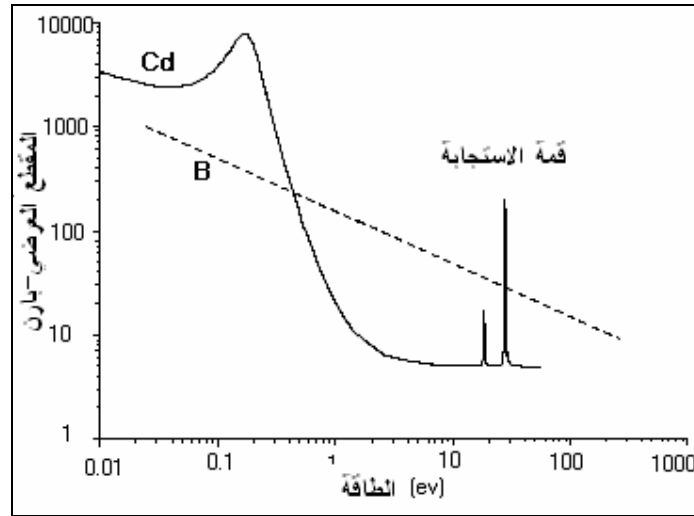
$$\sigma(E) = \sigma(E_0) \sqrt{\frac{E_0}{E}}$$

$\sigma(E_0)$ $(\sigma(E_0))$ E $(\sigma(E))$

10

0.333

$$\sigma(E) = 0.333b \sqrt{\frac{0.0253 \text{ ev}}{20 \text{ ev}}} = 0.0118b$$



:(1)

2 1

E'

:

$$E - E' = \frac{1}{2}(1 - \alpha)E$$

:

$$\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1} \right)^2$$

α

$$(E - E' = 1/2E)$$

1

:

$$\bar{E}' = 6.4 \sqrt{\frac{E}{A}}$$

14

3.2

7

:

x

I_0

موقع الفريد في الفيزياء

Σ ()

:

$$I = I_0 e^{-\Sigma x}$$

Σ x

N 1

:

$$\Sigma = N\sigma$$

cm^{-1}

cm^2 / g

Σ / ρ

$1/\Sigma$

:

0.1

3.4

:

$$2.54 \times 10^{22} \text{ atom} / \text{cm}^3$$

:

$$\Sigma = 2.54 \times 10^{22} \text{ atom} / \text{cm}^3 \times 3.4 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 / \text{atom} = 0.0864 \text{ cm}^{-1}$$

:

$$1/\Sigma = 1/0.0864 \text{ cm}^{-1} = 11.6 \text{ cm}$$

:

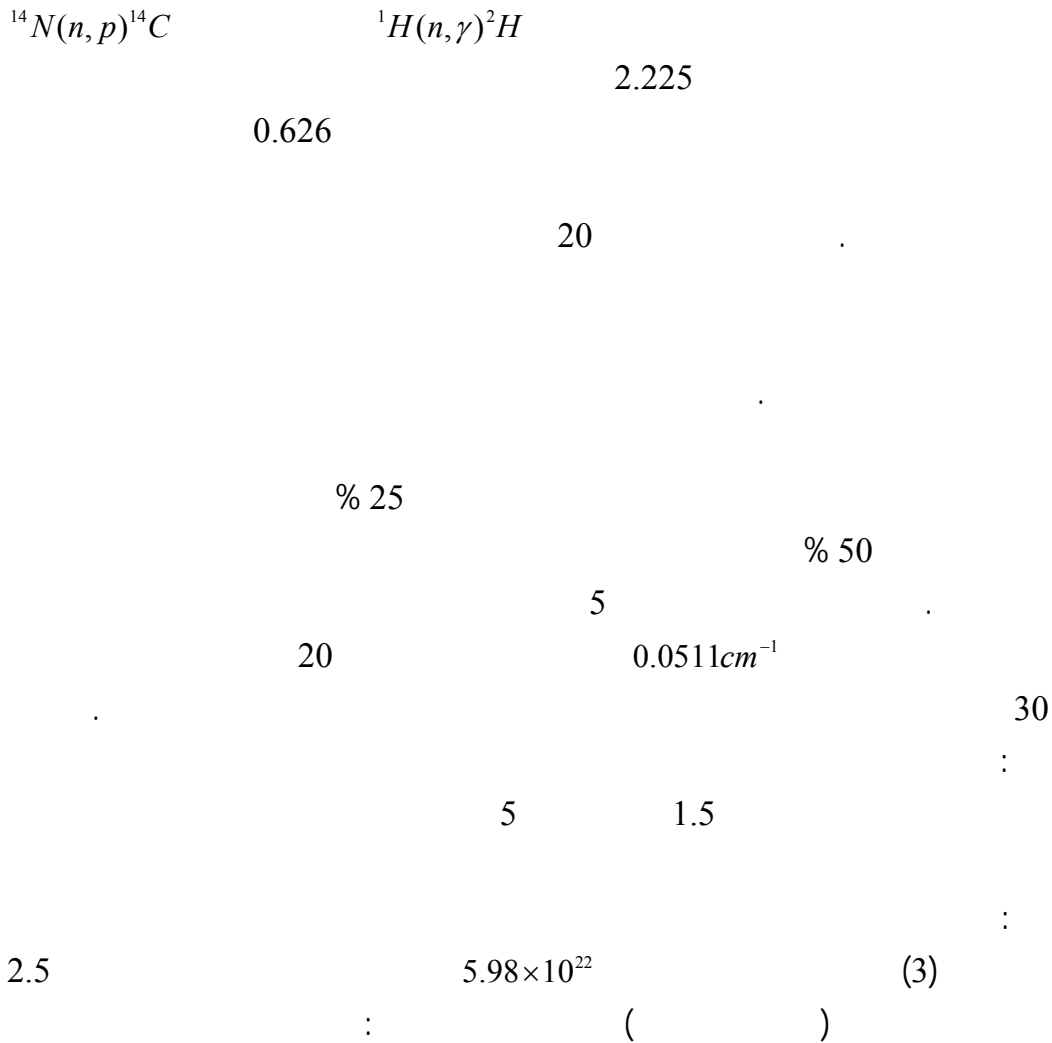
(3)) Σ

(

Σ

[118] 5 :(3)

$N\sigma f$	$\sigma(cm^2)$	f	$N(atoms / g)$
4.485×10^{-2}	1.5×10^{-24}	0.500	5.98×10^{22}
4.628×10^{-3}	1.55×10^{-24}	0.111	2.69×10^{22}
1.5×10^{-3}	1.65×10^{-24}	0.142	6.41×10^{21}
1.848×10^{-4}	1.0×10^{-24}	0.124	1.49×10^{21}
7.231×10^{-6}	2.3×10^{-24}	0.080	3.93×10^{19}
2.523×10^{-6}	2.8×10^{-24}	0.053	1.7×10^{19}
$Total = 0.051cm^2 / g$			



موقع الفريد في الفيزياء

$$D = (n/cm^2) \times \frac{5.98 \times 10^{22} \text{ atom/g} \times 1.5 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 / \text{atom} \times 2.5 \text{ MeV} \times 1.6 \times 10^{-6} \text{ erg/MeV}}{100 \text{ erg/g.rad}}$$

$$= 3.6 \times 10^{-9} \text{ rad}$$

(3) f :

$$f = \frac{2M_i}{(M_i + 1)^2}$$

)

(

$N\sigma_f$ (3)

: 5 0.0512 cm² / g

$$D = (n/cm^2) \times \frac{0.0512 \text{ cm}^2 / \text{g} \times 5 \text{ MeV} \times 1.6022 \times 10^{-6} \text{ erg/MeV}}{100 \text{ erg/g.rad}} = 4.1 \times 10^{-9} \text{ rad}$$

% 12

% 88

:

2.225

0.626

:

$$D_p = \frac{\phi \times N \times \sigma_n \times E_p \times 1.6022 \times 10^{-6} \text{ erg/MeV} \times 3600 \text{ s/h}}{100 \text{ erg/g.rad}}$$

N

1.83

:

1.49 × 10²¹

$$D_p(N) = \phi \times 9.845 \times 10^{-8} \text{ rad/h}$$

10000

$$D_p(N) = 10^4 \times 9.845 \times 10^{-8} \text{ rad/h} = 0.98 \text{ mrad/h}$$

$$\phi_\gamma = 10^4 \times 5.98 \times 10^{22} \text{ atoms/g} \times 0.333 \times 10^{-24} \text{ cm}^2 / \text{atom} = 198.5 \text{ photon/s.g}$$

$$D_\gamma(H) = \frac{198.5 \text{ p/s.g} \times 2.225 \text{ MeV} \times 0.278 \times 1.6022 \times 10^{-6} \text{ erg/MeV} \times 3600 \text{ s/h}}{100 \text{ erg/g.rad}}$$

$$= 7.08 \text{ mrad/h}$$

2

0.626

$$D_T = Q_p \times D_p + Q_\gamma \times D_\gamma = 2 \times 0.98 \text{ mrad/h} + 1 \times 7.08 \text{ mrad/h} = 9.04 \text{ mrem/h}$$

(4)

10

1987

112

(NCRP)

1993

CFR20

. 2.5-2

[118]

موقع الفريد في الفيزياء

/ 1		:(4)
مقدار التدفق ($n/cm^2.s$) الذي يعطي ($1mrem/h$)	مقدار التدفق ($n/cm^2.s$) الذي يعطي ($10 CFR 20$)	طاقة النيوترون eV
NCRP	10 CFR 20	
112	272	0.025
112	272	0.1
112	224	1
112	224	10
116	232	100
112	272	1000
120	280	10000
16	46	100000
6.4	10.8	500000
3.88	7.6	1000000
3.88	6.4	5000000
3.2	6.8	10000000
2.72	4.8	14000000
-	4.4	60000000
-	5.6	100000000

:

-

$$4.5 \quad 3 \times 10^7 n/s$$

:

$$4.5 \quad S$$

$$6.4n/cm^2 \quad / \quad 1 \quad (4)$$

$$/ \quad 0.156$$

:

$$D = \frac{S(n/s)}{4\pi r^2} \times D(1n) = \frac{3 \times 10^7 n/s \times 0.156(mrem/h)/(n/cm^2.s)}{4\pi(100)^2} = 37.2mrem/h$$

:

)

(

(

0.48)

7

Σ

:

$$I = I_0 e^{-\Sigma x}$$

:

D

(5)

$$D = D_0 e^{-\Sigma x}$$

B

:

20

5

$$D = B \times D_0 e^{-\Sigma x}$$

Σ

(5)

($\Sigma = N\sigma$)

Σ

:

$3 \times 10^7 \text{ n/s}$

($Pu - Be$)

25

4.5

موقع الفريد في الفيزياء

:

$$5 \quad B \quad \Sigma = 0.103 \text{cm}^{-1} \quad \Sigma \quad (5)$$

:

/ 37.2

$$D = B \times D_0 e^{-\Sigma x} = 5 \times 37.2 e^{-0.103 \text{cm}^{-1} \times 25 \text{cm}} = 14.2 \text{mrem} / \text{h}$$

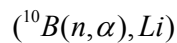
: (5)

$\Sigma(\text{cm}^{-1})$
0.032
0.078
0.084
0.089
0.092
0.101
0.103
0.106
0.111
0.118
0.132
0.156
0.167
0.182
0.212

:

0.5)

(



موقع الفريد في الفيزياء

10 (BF_3)

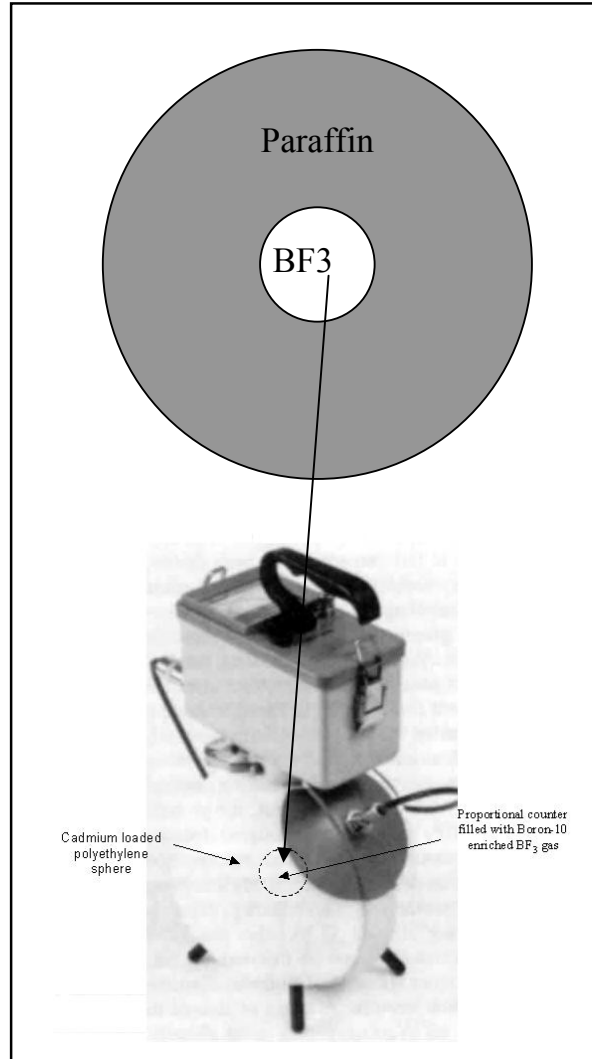
Q Q (6)

200 239 235 233

(6)

	Q	(MeV)	
$^{10}_5B + n \rightarrow ^7_3Li^* + \alpha$ 96%	2.31	$T_{Li} = 0.84$	3840
		$T_{\alpha} = 1.47$	
$^{10}_5B + \rightarrow ^7_3Li + \alpha$ 4%	2.79	$T_{Li} = 1.01$	
		$T_{\alpha} = 1.78$	
$^7_3Li + n \rightarrow ^3_1H + \alpha$	4.78	$T_H = 2.73$	940
		$T_{\alpha} = 2.05$	
$^4_2He + n \rightarrow ^3_1H + p$	0.765	$T_H = 0.19$	5330
		$T_p = 0.54$	

(2)



:(2)

(BF₃)

:

(*aerosols*)

0.5

40

15

3.8

DAC

1975 23 ICRP

66 30

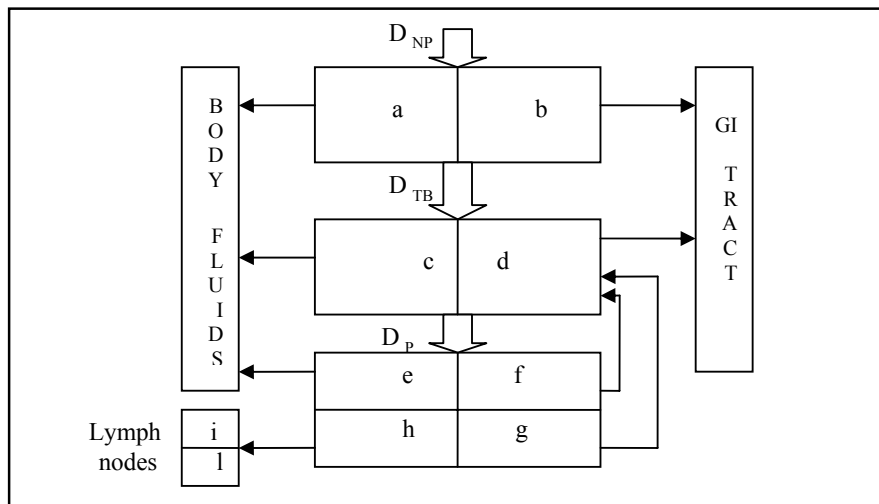
(170) (70)

20 10

(NP-nasal passage) (1)

D_{NP}

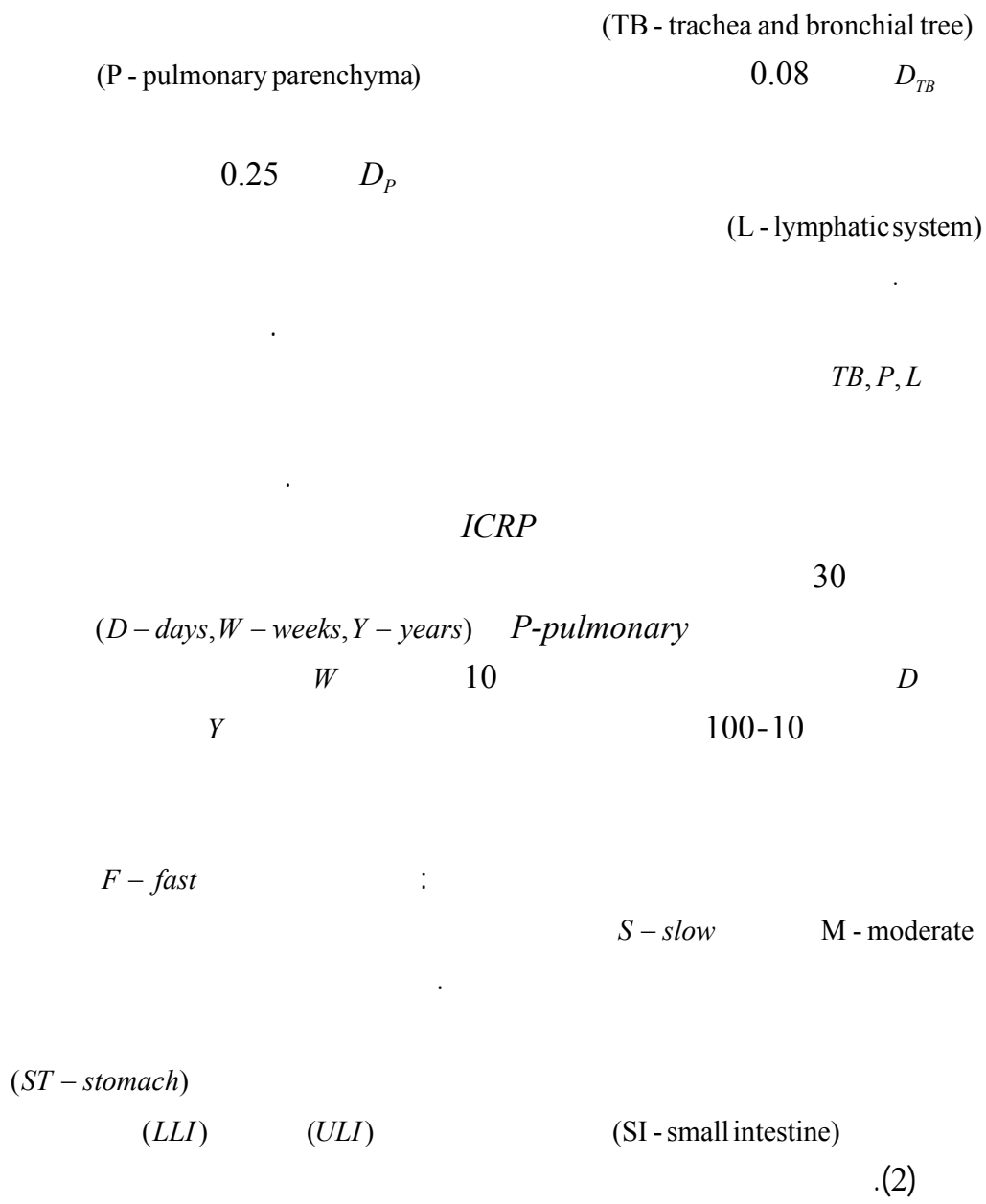
0.3



.1979 30 ICRP

(1)

موقع الفريد في الفيزياء



(λ_B)

(f)

:

$$f = \frac{\lambda_B}{\lambda_{SI} + \lambda_B}$$

15

15

^[134] %7.1

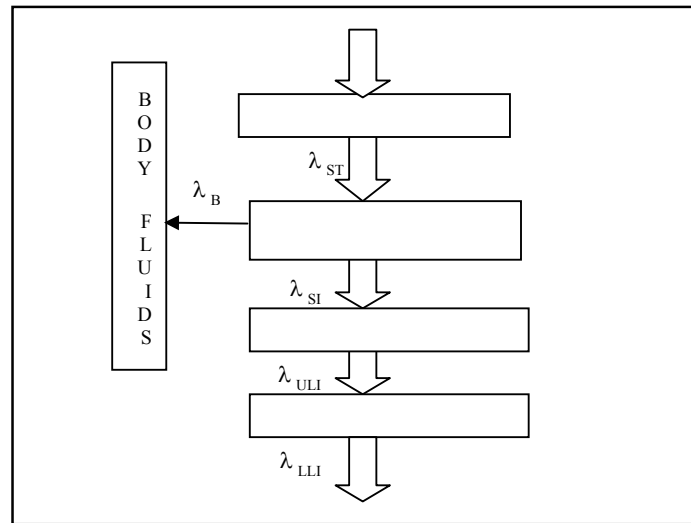
Sr

:

$R(t)$

$$R(t) = 0.54t^{-0.52}$$

0.54



[91] ICRP

(2)

:

D

$$(1) \quad H_T = \sum_R W_R D$$

$$(2) \quad E = \sum_T W_T H_T$$

العامل المرجح للإشعاع	Radiation Type and Energy
W_R	
1	الفوتونات بمختلف الطاقات
1	الالكترونات ، جسيمات بيتا والميزونات ، بمختلف الطاقات
5	النيوترونات $10 \text{ keV} >$
10	النيوترونات $10 \text{ keV} - 100 \text{ keV}$
20	النيوترونات $> 100 \text{ keV} - 2 \text{ MeV}$
10	النيوترونات $> 2 \text{ MeV} - 20 \text{ MeV}$
5	النيوترونات $> 20 \text{ MeV}$
20	جسيمات ألفا ونواتج الانشطارات النووية

(88) 1990 60 ICRP (2)

W_T	Tissue or Organ
0.20	() Gonads
0.12	() Bone Marrow
0.12	() Colon
0.12	() Lung
0.12	() Stomach
0.05	() Bladder
0.05	() Breast
0.05	() Liver
0.05	() Esophagus
0.05	() Thyroid
0.01	() Skin
0.01	() Bone surface
0.05	() Remainder

: τ

موقع الفريد في الفيزياء

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

ICRP (Dose Coefficient - $h_T(\tau)$)

$$H_T(\tau) = I \times h_T(\tau)$$

ALI - Annual Limit Intake

I

20 / 100
500 50
50

$$I \sum_T w_T h_T(\tau) \leq 50 mSv$$

$$I \sum_T w_T h_T(\tau) \leq 20 mSv$$

1996 115

$$E_T = H_p(d) + \sum_j e_j(g) I \leq 20 mSv$$

$$\sum_j e_j(g) I = \sum e(g)_{j,lng} I_{j,lng} + \sum e(g)_{j,lnh} I_{j,lnh}$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$\sum_j e_j(g)I \quad H_p(d)$$

$$\sum e(g)_{j,lng} I_{j,lng}$$

$$\sum e(g)_{j,lnh} I_{j,lnh}$$

ALI

I

DL

:

$$\frac{H_p(d)}{DI} + \sum_j \frac{I_{j,lng}}{ALI_{j,lng}} + \sum_j \frac{I_{j,lnh}}{ALI_{j,lnh}} \leq 1$$

(DAC-Derived air concentration)

(/)

ICRP

0.02

50

2000

: DAC

8

$$DAC = \frac{ALI}{(0.02m^3 / min) \times 2000hr \times (60 min/ hr)} = \frac{ALI}{2400} Bq / m^3$$

(S-Source)

(T-Target)

AF

:

$$AF = \frac{E_{absorbed \text{ at T}}}{E_{emitted \text{ in S}}}$$

1

.1 0

SSE(T ← S)

() . /

.ICRP

: S T

$$h_T = \sum_S \sum_j U_{S,j} SSE(T \leftarrow S)_j$$

S j U_{S,j}

τ

:

$$U_{S,j} = \int_0^\tau q_{S,j}(t) dt$$

$$q_{S,j}(t) = \text{Activity}$$

D_{50,i}

50 i

:

$$H_{50} = \sum_i Q_i D'_{50,i}$$

(1)

i

$$-(Q = W_R) - Q_T$$

:

$$H_{50}(T \leftarrow S) = Q_i D'_{50}(S \leftarrow T)$$

T

j

S

i

i

SEE

:

$$SEE(T \leftarrow S)_i \frac{\text{MeV}}{\text{g}} \times \frac{1.6 \times 10^{-13} \text{ J / MeV}}{10^{-3} \text{ kg / g}} = 1.6 \times 10^{-10} SEE(T \leftarrow S)_i \text{ Sv}$$

1.6 × 10⁻¹⁰

S

j

U

:

j

i

H₅₀

$$H_{50}(T \leftarrow S) = 1.6 \times 10^{-10} \left[U_S \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \right]_j \text{ Sv}$$

j

j

i

موقع الفريد في الفيزياء

$$\sum_j H_{50}(T \leftarrow S) = 1.6 \times 10^{-10} \sum_j \left[U_S \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \right] Sv$$

$$H_{50,T} = 1.6 \times 10^{-10} \sum_S \sum_j \left[U_S \sum_i SEE(T \leftarrow S)_i \right] Sv$$

SEE
($Q = W_R$)

$$SEE(T \leftarrow S)_j = \frac{1}{M} \sum_i Y_i E_i AF(T \leftarrow S)_i Q_i (MeV / g)$$

$$\frac{M_T}{M_{WB}} = \frac{M_T}{S = WB} = 0.2$$

0.2

8-6

SEE

131

20

$$AF = 1$$

$$E_1 = 0.806 / 3 = 0.269 MeV \quad Y_i = 0.006$$

$$E_2 = 0.606 / 3 = 0.202 MeV \quad Y_i = 0.994$$

: *SEE* $Q = 1$

$$SEE(Thy \leftarrow Thy)_{131I(\beta^-)} = \frac{1}{20g} (0.006 \times 0.269 MeV \times 1 \times 1 + 0.994 \times 0.202 MeV \times 1 \times 1)$$

$$= 0.01 MeV / g = 1.6 \times 10^{-12} Sv / nt$$

()

$$SEE(Thy \leftarrow Thy)_{131I(\gamma)} \quad (Thy \leftarrow Thy)_{131I(\gamma)}$$

:

$$SEE(Thy \leftarrow Thy)_{131I} = SEE(Thy \leftarrow Thy)_{131I(\beta^-)} + SEE(Thy \leftarrow Thy)_{131I(\gamma)}$$

$$= 0.01 MeV / g + 0 = 0.01 MeV / g$$

38 ICRP

0.19 MeV

1983

$$SEE(Thy \leftarrow Thy)_{131I(\beta^-,ce,Auger)} = \frac{0.19 MeV / nt}{20g} = 9.5 \times 10^{-3} MeV / g$$

$$= 1.52 \times 10^{-12} Sv / nt$$

: AF = 20g / 68.83kg

$$SEE(Thy \leftarrow WB)_{131I(\beta^-,ce,Auger)} = \frac{0.19 MeV / nt}{20g} \times \frac{20g}{68.83kg} = 2.76 \times 10^{-3} MeV / kg$$

$$= 4.4 \times 10^{-16} Sv / nt$$

(MIRD – Medical Int. Radiation Doses)

.ICRP

:

U

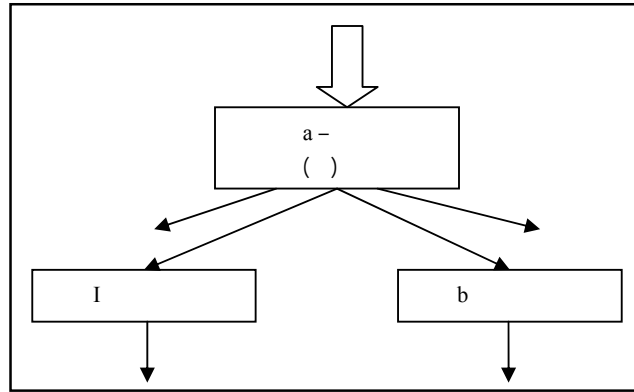
50 -

$$U_S = \int_{t_0}^{t_0+\tau} q(t) dt$$

ICRP

(3)

0.25



:(3)

$$\begin{aligned}
 & \lambda_a \quad a \quad \lambda_R \quad a \quad q_a(t) \\
 & a \\
 & : \\
 & \frac{dq_a(t)}{dt} = \dot{I}(t) - \lambda_R q_a(t) - \lambda_a q_a(t) \\
 & b \quad q_b(t) \quad b \quad a \quad b \\
 & : \\
 & \frac{dq_b(t)}{dt} = b \lambda_a q_a(t) - \lambda_R q_b(t) - \lambda_b q_b(t)
 \end{aligned}$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$I = q_a(0) \quad t = 0 \quad I$$

:

$$\frac{dq_a}{dt} = -(\lambda_R + \lambda_a)q_a$$

$$q_a(t) = Ie^{-(\lambda_R + \lambda_a)t}$$

: b

$$\frac{dq_b}{dt} = b\lambda_a q_a - (\lambda_R + \lambda_b)q_b$$

:

$$q_b(t) = \frac{b\lambda_a I}{\lambda_b - \lambda_a} (e^{-(\lambda_R + \lambda_a)t} - e^{-(\lambda_R + \lambda_b)t})$$

U

: b a q(t)

$$U_a(T) = \int_0^T q_a(t) dt = \frac{I}{\lambda_R + \lambda_a} e^{-(\lambda_R + \lambda_a)t} \Big|_0^T$$

$$= \frac{I}{\lambda_R + \lambda_a} (1 - e^{-(\lambda_R + \lambda_a)T})$$

: b

$$U_b(T) = \int_0^T q_b(t) dt = \frac{b\lambda_a I}{\lambda_b - \lambda_a} \left(\frac{1 - e^{-(\lambda_R + \lambda_a)T}}{\lambda_R + \lambda_a} - \frac{1 - e^{-(\lambda_R + \lambda_b)T}}{\lambda_R + \lambda_b} \right)$$

50

:

0.43

0.25 ()

)

9.8

b = 0.22

. 144 (

50

0.255

:

:

$$\lambda_R = \frac{0.693}{0.43} = 1.6 \text{ day}^{-1}$$

$$\lambda_a = \frac{0.693}{0.25} = 2.8 \text{ day}^{-1}$$

$$\lambda_b = \frac{0.693}{9.8 \times 365} = 1.9 \times 10^{-4} \text{ day}^{-1}$$

50

:

$$T = 50 \times 365 = 1.8 \times 10^4 \text{ day}$$

$$I = 1 \text{ Bq} = 1 \text{ sec}^{-1} \times 86400 \text{ sec/day} = 8.6 \times 10^4 \text{ day}^{-1}$$

:

$$U_a = \frac{I}{\lambda_R + \lambda_a} = \frac{8.6 \times 10^4 \text{ day}^{-1}}{(1.6 + 2.8) \text{ day}^{-1}} = 2 \times 10^4$$

:

$$U_b = \frac{b \lambda_a I}{\lambda_b - \lambda_a} \left(\frac{\lambda_b - \lambda_a}{(\lambda_R + \lambda_a)(\lambda_R + \lambda_a)} \right) = 7.5 \times 10^3$$

SEE

SEE

70

WB

: 144 b

$$\begin{aligned} SEE(WB \leftarrow WB)_j &= \frac{1}{M} \sum_i Y_i E_i A F(WB \leftarrow WB)_i Q_i (\text{MeV/g}) \\ &= \frac{1}{70000} (0.26 \times 1 \times 1) = 3.7 \times 10^{-6} \text{ MeV/g} \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} H_{50, WB} &= 1.6 \times 10^{-10} U_a SEE(WB \leftarrow WB) \\ &= 1.6 \times 10^{-10} \times 2 \times 10^4 \times 3.7 \times 10^{-6} = 1.2 \times 10^{-11} \text{ Sv} \end{aligned}$$

:

b

$$SEE(b \leftarrow b) = \frac{1}{144} (0.26 \times 1 \times 1) = 1.9 \times 10^{-3} \text{ MeV/g}$$

and

$$\begin{aligned} H_{50, b} &= 1.6 \times 10^{-10} U_b SEE(b \leftarrow b) \\ &= 1.6 \times 10^{-10} \times 7.5 \times 10^3 \times 1.9 \times 10^{-3} = 2.3 \times 10^{-9} \text{ Sv} \end{aligned}$$

b

b

موقع الفريد في الفيزياء

$$\begin{aligned}
 & \text{1kBq} \quad \text{0.45} \quad \text{120} \quad \text{239Pu} \\
 & \text{CB - cortical bone} \quad \text{TB} \\
 & \text{BS - Bone surface} \\
 & \text{) } \quad \text{0.25} \quad \text{CB} \quad \text{TB} \quad \text{(} \quad \text{5.1} \\
 & \text{0.25} \\
 & \text{0.5} \\
 & \text{0.45} \quad \text{0.5} \times \text{0.25} \\
 & \text{1000} \times \text{0.45} \times \text{5.1} \times \frac{\text{MeV}}{\text{des}} [0.5 \times 0.25(\text{TB} \rightarrow \text{BS}) + 0.5 \times 0.25(\text{CB} \rightarrow \text{BS})] / 120\text{g} \\
 & = 4.8 \frac{\text{MeV}}{\text{S.g}} = 0.77 \text{nGy.S}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$T_{EFF} = \frac{T_R T_B}{T_R + T_B}$$

MIRD

SPECT PET

φ

Δ

$$\begin{aligned}
 & \text{D}' \\
 & \Delta(\text{Gy.kg} / \text{Bq.s}) = N \times \bar{E} = 1.6 \times 10^{-13} \bar{E}
 \end{aligned}$$

$$D'(\text{Gy/s}) = \frac{A}{m} \sum \varphi_i \Delta_i$$

(t_1, t_2)

$$D = \int_0^{\infty} D'(t) dt = \frac{\sum \varphi_i \Delta_i}{m} \int_0^{\infty} A_s(t) dt$$

$$\int_0^{\infty} A_s(t) dt = \tilde{A}$$

$$D = \frac{\tilde{A}}{m} \sum \varphi_i \Delta_i$$

\tilde{A}

(4)

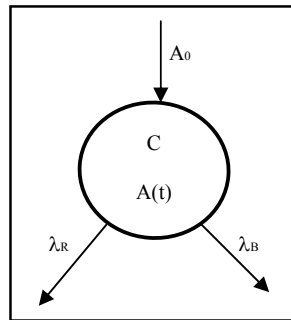
:

ϕ

$$\phi = \frac{\varphi}{m}$$

:

$$\bar{D} = \tilde{A} \Delta \phi$$



(4)

)

32 ICRU

(

.1979

ϕ

\tilde{A}

:

موقع الفريد في الفيزياء

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda_{EFF} t}$$

$$\tilde{A} = \int A(t) dt = \frac{A_0}{\lambda_R + \lambda_B} (1 - e^{-(\lambda_R + \lambda_B)t})$$

$$\tilde{A}_\infty = \frac{A_0}{\lambda_R + \lambda_B}$$

m, φ, Δ

S

:

$$\bar{D}(r_k) = \sum_h \tilde{A}_h S(r_k \leftarrow r_h)$$

$$\bar{D} = \tilde{A} S$$

τ

S

:

$$D = (A_0 \times \tau) S$$

^{99m}Tc

3

% 95

MIRD

:

TBS-Total body scan

(In vivo)

(In vitro)

:

$$A_{Unknown} = C_{Unknown} / K$$

:

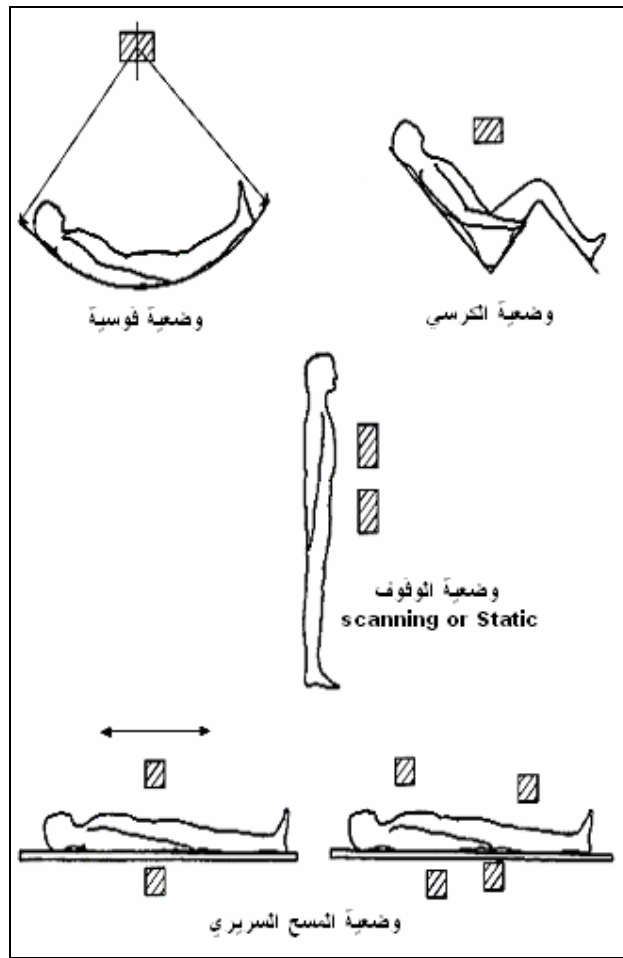
$$A_{Unknown} = A_{known} \frac{C_{Unknown}}{C_{known}}$$

$A_{known} , A_{Unknown}$

$C_{known} , C_{Unknown}$

(5)

(25)



(5):

- .1
- .2
- .3
- .4

LLD- Lower Limit Detection

14- 3H

GM

.(135)

:

15

100/

Prussian Blue

Chelating agents

DTPA – diethylenetriamnepentaacetic – acid

1

:(34)

:

-1

Zn, Ca – DTPA

Chelating

.IV

1

1 *Ferric Ferro cyanide*

:

-2

3

NaI

KI

:

-3

14-7

65

130

Chelating

:

-4

100

:

-5

1

100/

15

:

-6

:

-7

100

موقع الفريد في الفيزياء

:

3.6 % 65

1987 93

%55

ALARA

ICRP

WLM

ICRP

WLM/ 5

350

250

1000

/ 148

200

11

1000 8.8

/ 11

10000

10

1000 8

10000

60 20

10000 300

10

10000 120

5

موقع الفريد في الفيزياء

37

0.1

1

5000-2000

400-200

4

10000

1

20

50

100

IL

AIL

:

$$IL = \frac{3}{10} \times AIL \times \frac{T}{365}$$

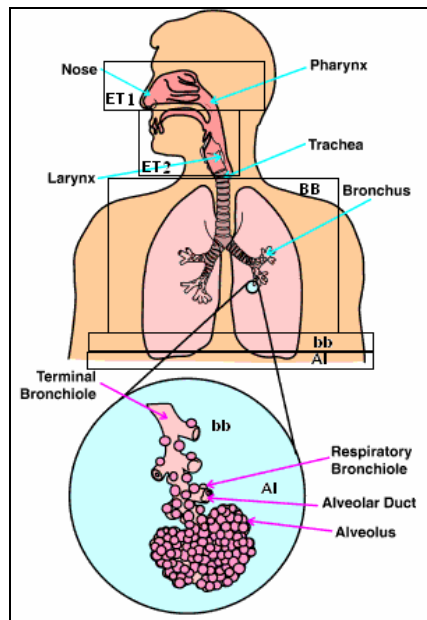
موقع الفريد في الفيزياء

RL

$$IL = \frac{1}{10} \times ALI \times \frac{T}{365}$$

(1)

1994 66 ICRP



(ICRP,66)

:(1)

موقع الفريد في الفيزياء

(1)

(0.6nm – 100µm)

(1)

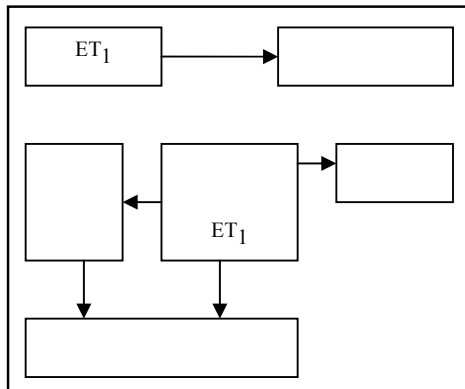
5µm

(ICRP,66)

(1):

5µm	(%)	
	34	ET1
	40	ET2
	1.8	BB
	1.1	bb
	5.3	AI
	82	

(2)

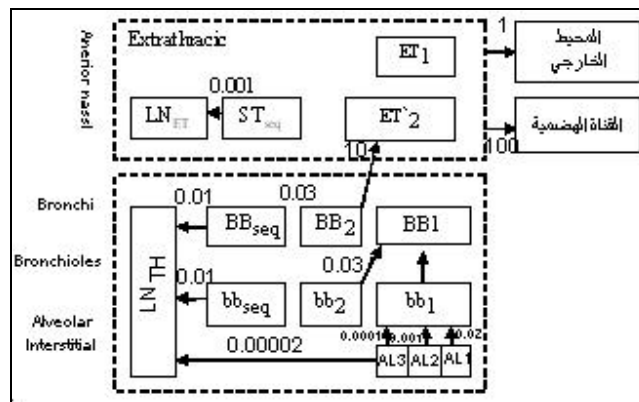


(ICRP,66)

(2):

(3)

(1-)



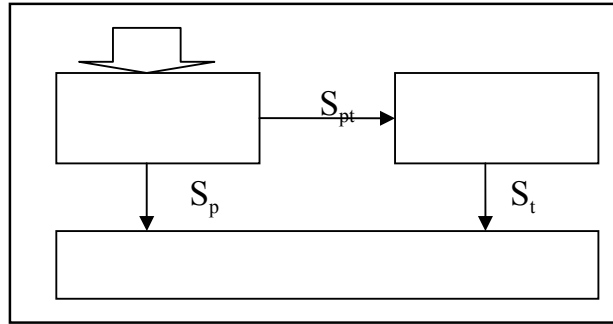
(ICRP,66)

(3):

موقع الفريد في الفيزياء

ET1

S_p		S_t		S_{pt}
(4)			(2)	(1-)
%100	10		F	F, M, S
% 90	10	%10	M	
10		% 0.1	S	140
			7000	% 99.9



:(4)

:(2)

S	M	F	(1-)
0.1	10	100	S_p
100	90	0	S_{pt}
0.0001	0.005	-	S_t

:

24,13,4,1

(1-) 1,1.8,6,24 λ

f_1

λ_B

موقع الفريد في الفيزياء

.1997 78 ICRP 1996 115

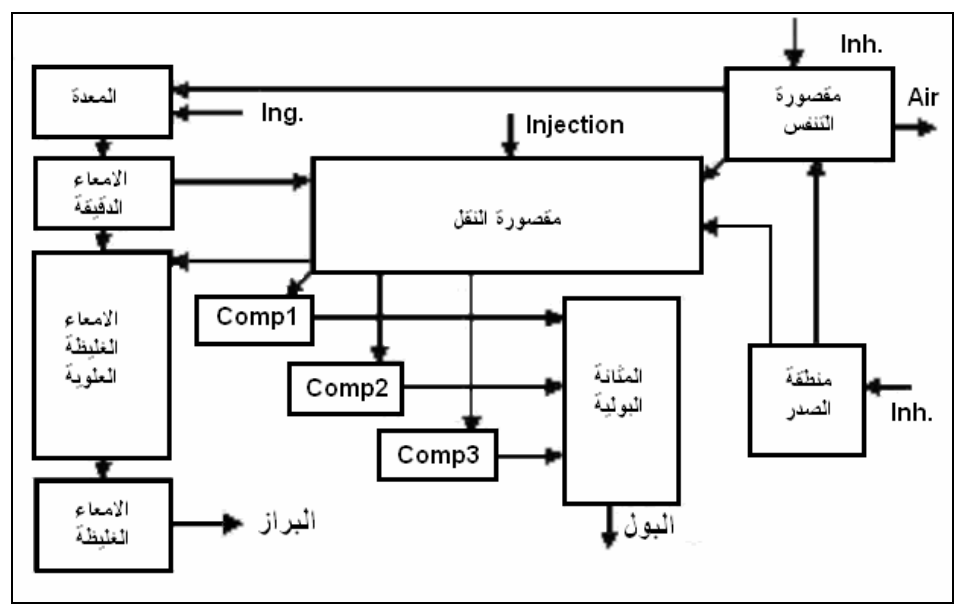
: λ_B

$$\lambda_B = \frac{f_1 \lambda_{SI}}{1 - f_1}$$

:

Co H Cf Cs Rh
 Pu Np Th U Ra Sr
 . Cm Am
 Sr, Ra, U

(5)



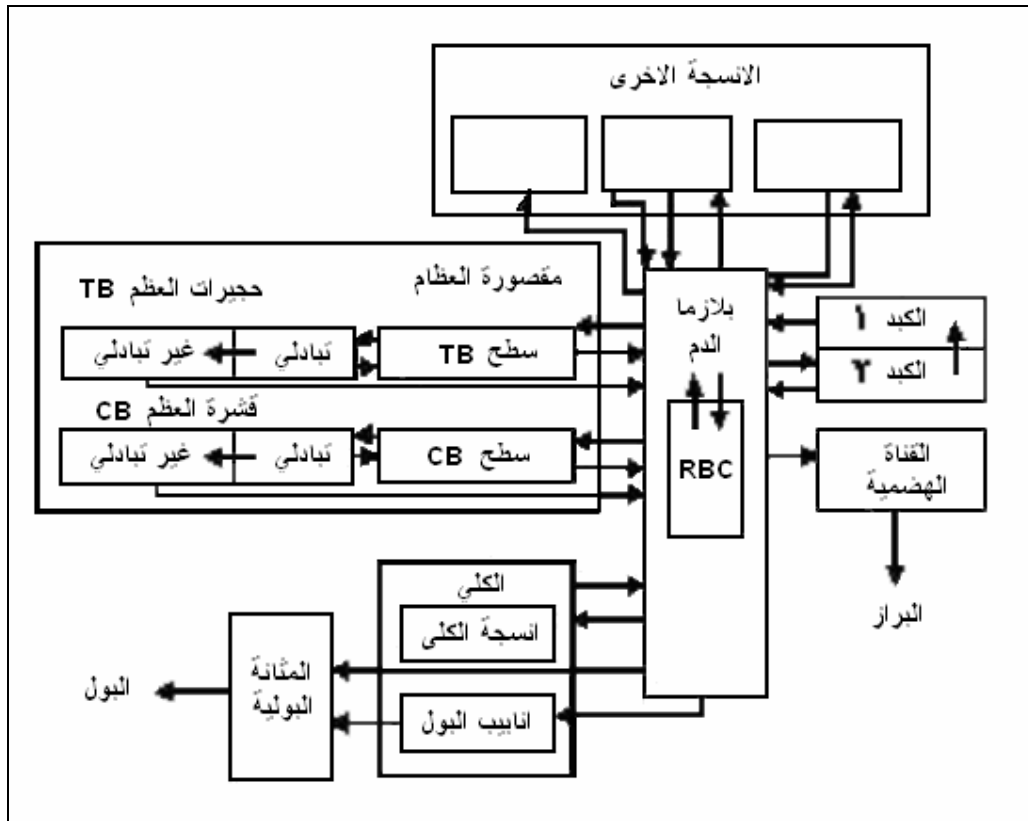
. ICRP, 30 (H, Co, Rh, Cs, Cf) : (5)

موقع الفريد في الفيزياء

(EXCH)

(NONEXCH)

.(6)



(ICRP,78) .

:(6)

:

^{40}K

42

24

0.1

1997 115

66 ICRP

1998 78

1994

f

$m(t)$
 t

(7)

M

$m(t)$

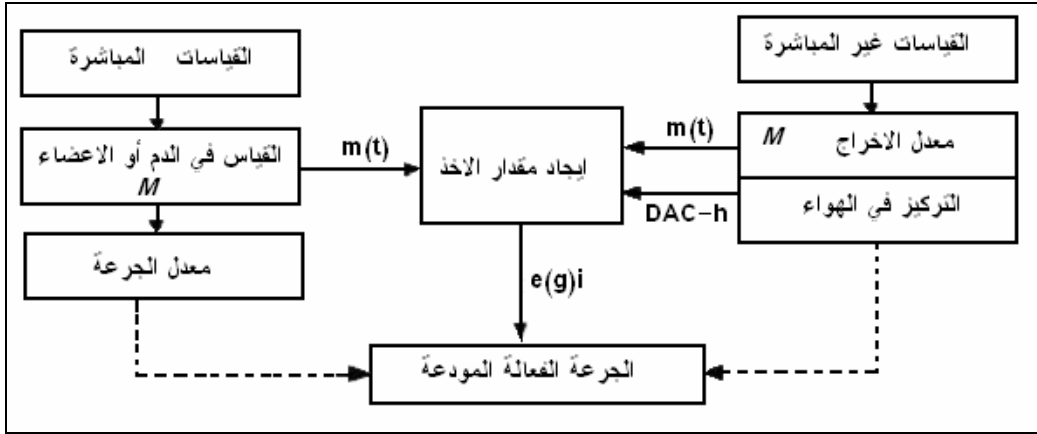
t

$$I = \frac{M}{m(t)}$$

, 78 ICRP

$m(t)$

موقع الفريد في الفيزياء



(7):

131-

3000

$$m(7) = 0.074$$

: I F

$$I = \frac{3000Bq}{0.074} = 41kBq$$

115

-

131-

:

$1.1 \times 10^{-8} Sv / Bq$

$$E_T = e(g) \times I = 1.1 \times 10^{-8} \frac{Sv}{Bq} \times 41kBq = 450 \mu Sv$$

$$m(8) = 1.1 \times 10^{-4}$$

30

.3mSv

$$I = 270kBq$$

DAC

/ 1.2

/ 20000

24000

10

131-

:

:

-2

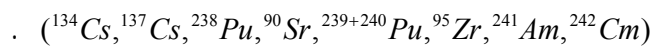
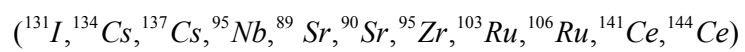
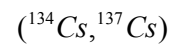
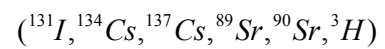
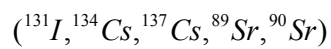
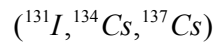
-1

-4

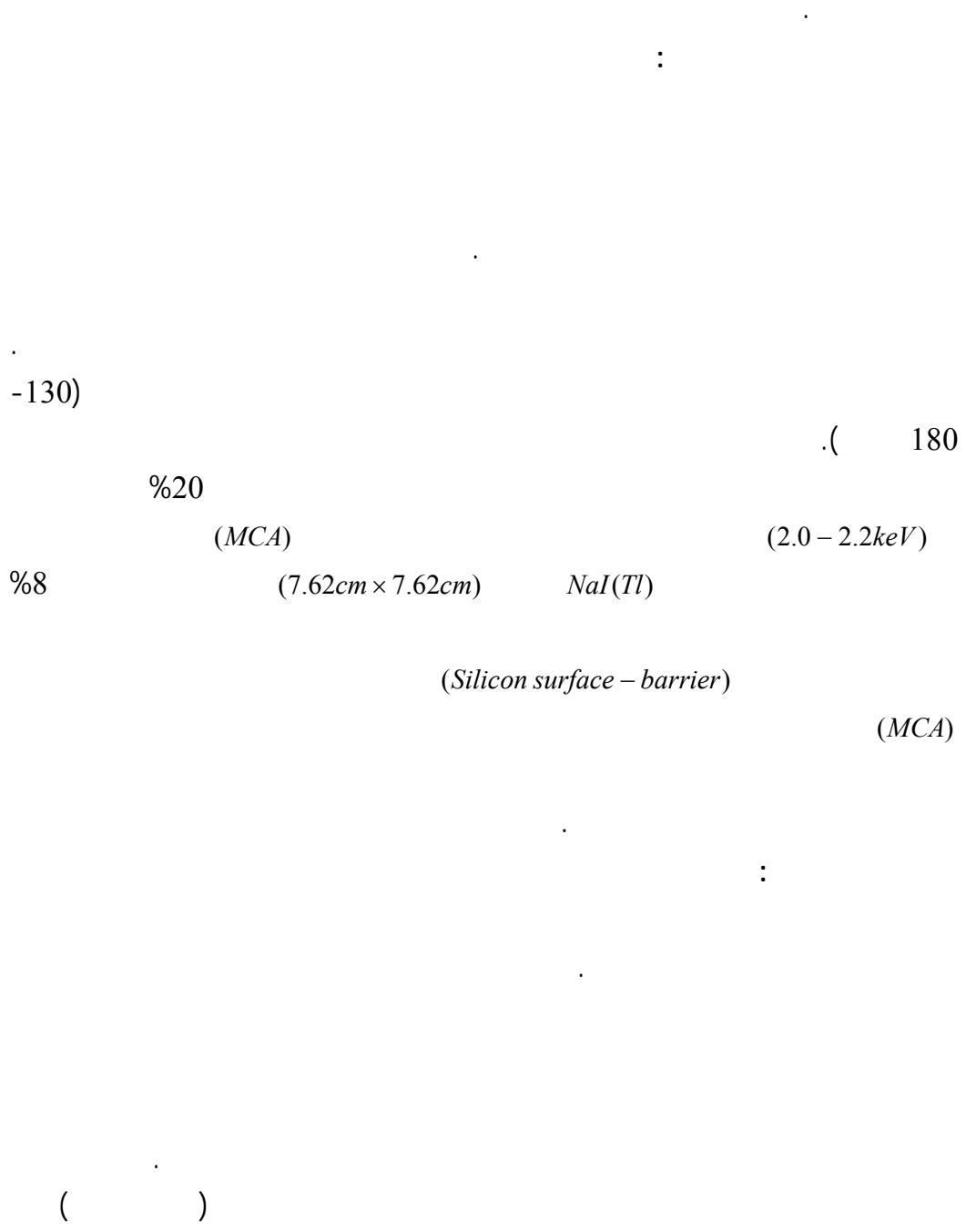
-3

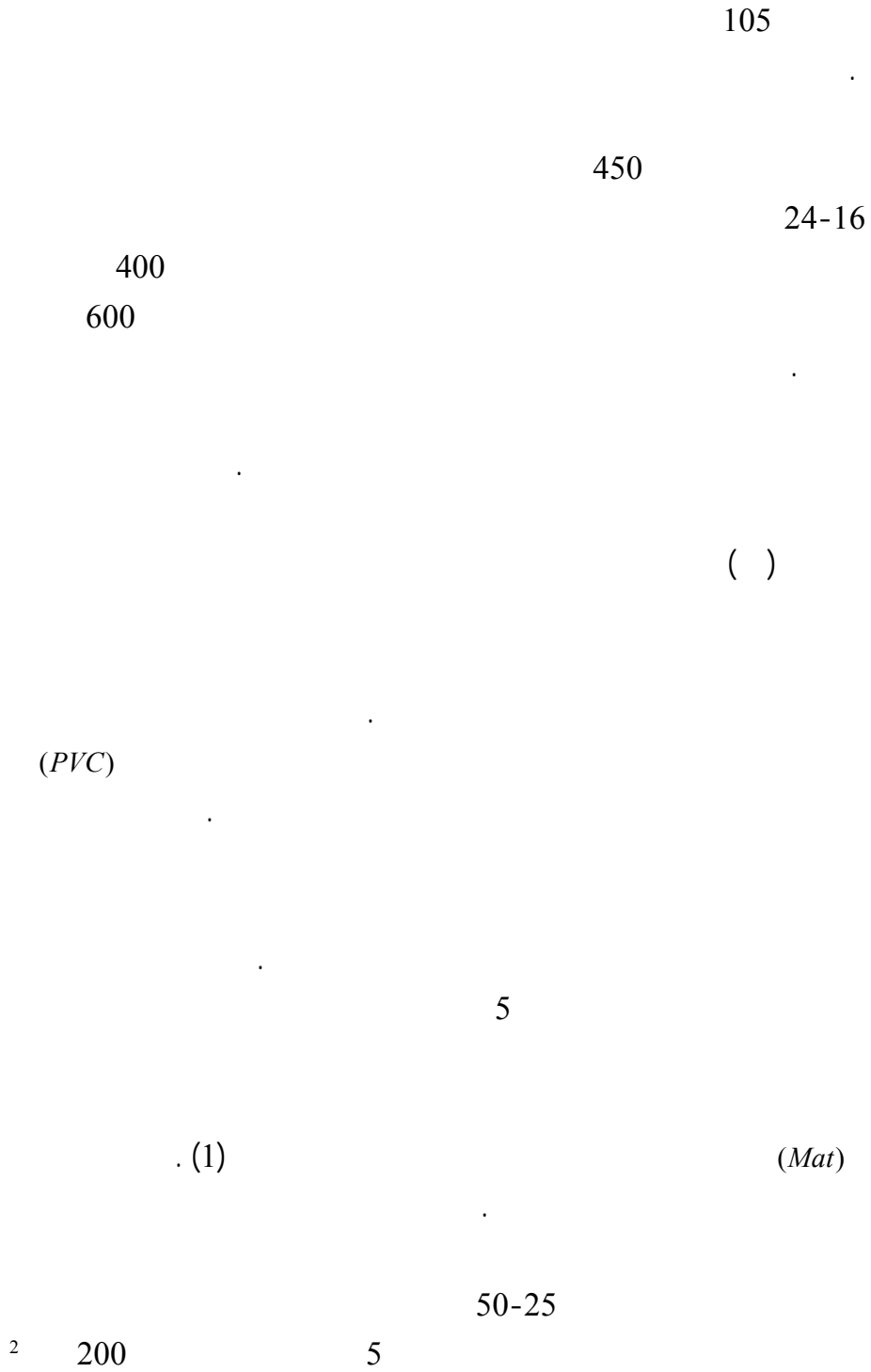
-5

-6

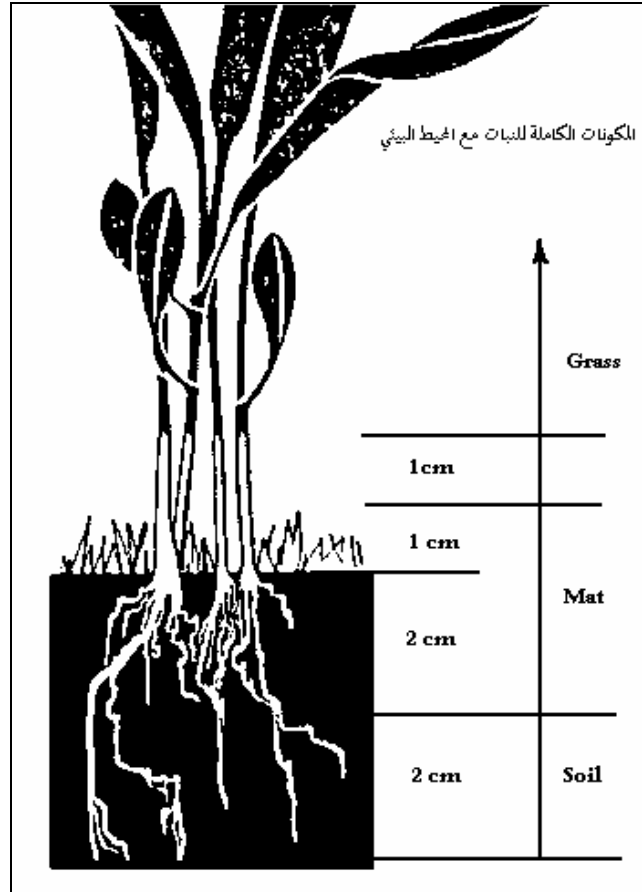


موقع الفريد في الفيزياء





موقع الفريد في الفيزياء



(1):

0.2- 0.1

25-5

موقع الفريد في الفيزياء

10-5

1-0.1

(Gamma Spectrometry)

.1

()

.2

.3

.4

()

^{137}Cs

.5

^{60}Co

.6

(SQCS)

[64,39]

(HPGe)

%20-18

(7.62cm × 7.62cm)

NaI(Tl)

()

25 ⁶⁰Co

(1.33MeV)

. FWHM

(1.8 – 2.2keV)

.(1:46)

10-5

(MCA)

662keV

¹³⁷Cs

¹³⁷Cs

(60 – 2000keV)

(0.5keV / Channel)

(FEP)

. (Least Squares Methods)

:

(LLD)

$$LLD = \frac{4.66S_b}{\varepsilon P_\gamma}$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$(\varepsilon) \quad (\varepsilon) \quad (P_\gamma) \quad (S_b)$$

(MDC – minimum detectable concentration)

$$LLD = \frac{4.66S_b}{\varepsilon P_\gamma W}$$

(W)

(S_b)

(2)

: (n_t)

$$n_t = \sum_{i=a_2}^{b_1} n_i$$

n_b

$$n_b = \left(\sum_{i=a_1}^{a_2-1} n_i + \sum_{i=b_1+1}^{b_2} n_i \right) \frac{(b_1 - a_2 + 1)}{(a_2 - a_1 + b_2 - b_1)}$$

$$n = n_t - n_b$$

$$(2) \quad (a_1, a_2, b_1, b_2) \quad (i) \quad (n_i)$$

$$(\quad) \quad (R_n)$$

:

موقع الفريد في الفيزياء

$$R_n = R_T - R_b$$

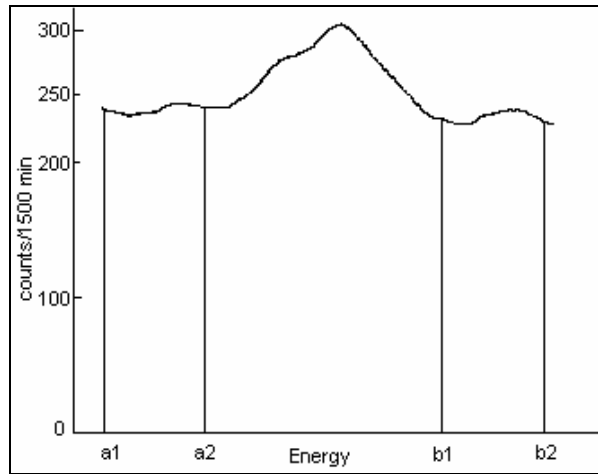
$$A_n = \frac{R_n m_f}{\epsilon m_\mu m_F P_\gamma}$$

$$(R_T) \text{ (Bq / kg)} \quad (n) \quad (A_n)$$

$$(m_F) \text{ ()} \quad (R_b) \text{ ()}$$

$$(m_\mu) \quad (m_f)$$

$$(m_\mu) \text{ (} m_f \text{)}$$



:(2)

0.01) ($T_{1/2}$)

(

(A_s) (A_n)

($^{131}I, ^{147}Nd, ^{140}Ba, ^{140}La$)

1500

:

$$A_s = A_n f$$

$$f = \frac{\lambda t}{(1 - e^{-\lambda t})}, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

(t_1) (A_s)

:

$$A_{st} = A_s e^{\lambda t_1}$$

(S_n)

(S_B)

(S_T)

:

موقع الفريد في الفيزياء

$$S_n^2 = S_T^2 + S_B^2$$

$$S_T^2 = \frac{R_T}{t}, \quad S_B^2 = \frac{R_B}{t}$$

(1)

[64]

[64] (^{137}Cs)

(1):

%	(mBq/kg)	(mBq/kg)	()
50.4	90.8	180	500
29.1	52.4	180	1500
20.6	37.0	180	3000
25.9	93.4	360	500
15.0	53.9	360	1500
10.6	38.1	360	3000
11.1	100.3	900	500
6.4	57.9	900	1500
4.5	40.9	900	3000
6.2	110.9	1800	500
3.6	64.0	1800	1500
2.5	45.3	1800	3000

(%5-1)

(%5-3)

%3

$\sqrt{2}$

:(^{90}Sr)

12

4

16

(29.1)

(/ 2)

3000
(C_1, C_2, C_3)
(^{89}Sr)
(^{90}Y)

3

:

$$f = e^{-\frac{0.69315t}{2.69}}$$

(64.1) (^{90}Y) t

: C

$$Corr. = \frac{f_3 C_3 - f_1 C_1}{f_3 - f_1}$$

: (^{90}Sr)

$$^{90}Sr = \frac{C \times 10^6}{60 \times S \times Y \times E}$$

% (Y) % (S) (C) % (^{90}Y) (E)

: (^{90}Sr)

$$^{90}Sr = \frac{C_1 \times 10^6}{60 \times S \times E}$$

(^{89}Sr)

$$. (^{89}Sr / ^{90}Sr) - (^{90}Sr)$$

3000

(^{89}Sr)

2 / 100

24

:

$$^{89}Sr = \frac{C \times 10^6}{60 \times S \times e} - \frac{A \times E_1}{e}$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$\begin{array}{cccc}
 (A) \% & & (S) & & (C) \\
 (e) \text{ } (^{90}\text{Sr}) & \% & & (E_1) & (^{90}\text{Sr}) \\
 (^{90}\text{Y}) & & & .(^{89}\text{Sr}) & \%
 \end{array}$$

:

$$f = e^{\frac{0.69315t}{2.69}}$$

: (^{89}Sr)

$$^{89}\text{Sr} = \frac{C \times 10^6}{60 \times S \times e} - \left(\frac{A \times E_1}{e} + \left(\frac{f-1}{f} \right) E_2 \right)$$

. (^{90}Y)

%

E_2

$(^3H, ^{14}C, ^{33}P, ^{35}S, ^{45}Ca, ^{63}Ni)$

300
300
0.1

:

() -1
() -2
-3

موقع الفريد في الفيزياء

:

R_0

(Intensity)

(Omnidirectional)

:

$$A = 4\pi r^2$$

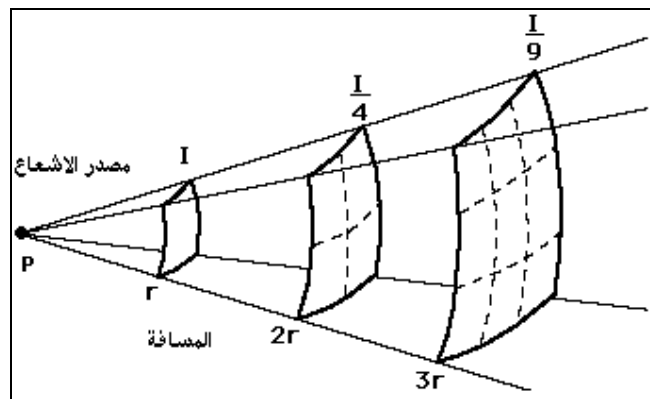
R_0

R

:

$$R = \frac{R_0}{4\pi r^2}$$

(1)



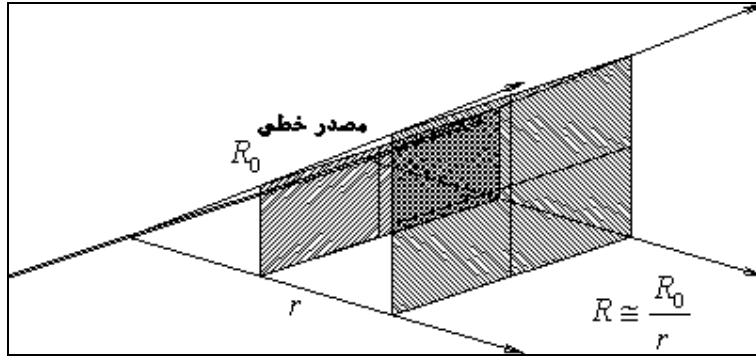
(1)

(^{22}Na)

		50	$50mR/h$	10
$3.1mR/h$	200	$12.5mR/h$	100	

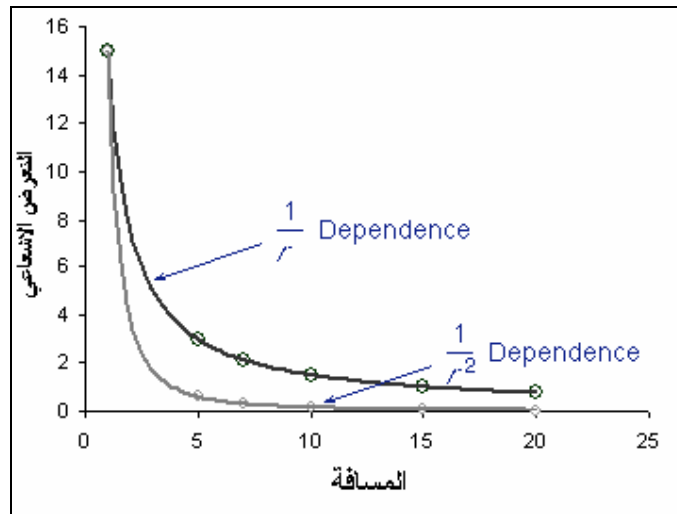
موقع الفريد في الفيزياء

(2)



:(2)

(3)



:(3)

$$A_L \cdot m^{-1} \quad a \quad h \quad L \quad 1MeV \quad v = 1m \cdot s^{-1} \quad (4)$$

$$\frac{\mu_E}{\rho} = 0.0308 cm^2 \cdot g^{-1} \quad 1MeV$$

$$dy$$

$$S = \sqrt{(h^2 + b^2)} = \sqrt{h^2 + x^2 + (a + y)^2}$$

∴ dy

$$\frac{d\dot{D}}{dy} = \frac{A_L}{4\pi S^2} \times \frac{E_\gamma \mu_E}{\rho}$$

$$dt = \frac{dx}{v}$$

$$\frac{d\left(\frac{dD}{dt}\right)}{dy} = \frac{vd^2D}{dydx}$$

$$d^2D = \frac{A_L}{4\pi} E_\gamma \times \frac{\mu_E}{\rho v} \times \frac{dydx}{[h^2 + x^2 + (a + y)^2]}$$

$$dD = \frac{A_L}{4\pi} E_\gamma \times \frac{\mu_E}{\rho v} \times \frac{\pi}{\sqrt{[h^2 + (a + y)^2]}} dy$$

$$D = \frac{A_L}{4} E_\gamma \times \frac{\mu_E}{\rho v} \times \ln \frac{a + l + \sqrt{h^2 + (a + l)^2}}{a + \sqrt{(h^2 + a^2)}}$$

h

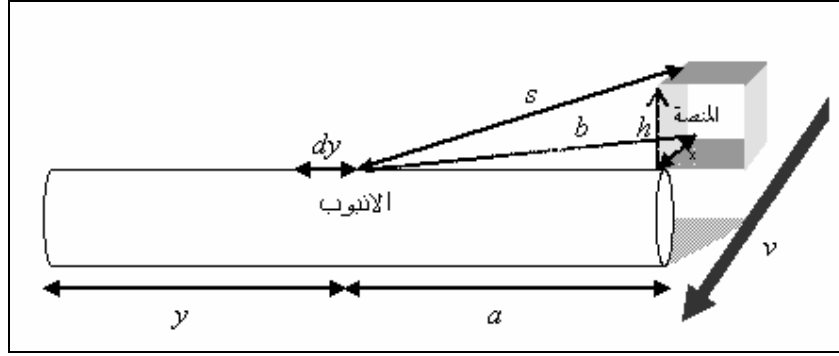
موقع الفريد في الفيزياء

1. $h = 0$

$$D = \frac{A_L}{4} E_\gamma \times \frac{\mu_E}{\rho v} \times \ln \frac{(a+l)}{a}$$

2. $a = 0$

$$D = \frac{A_L}{4} E_\gamma \times \frac{\mu_E}{\rho v} \times \ln \frac{l + \sqrt{h^2 + l^2}}{h}$$

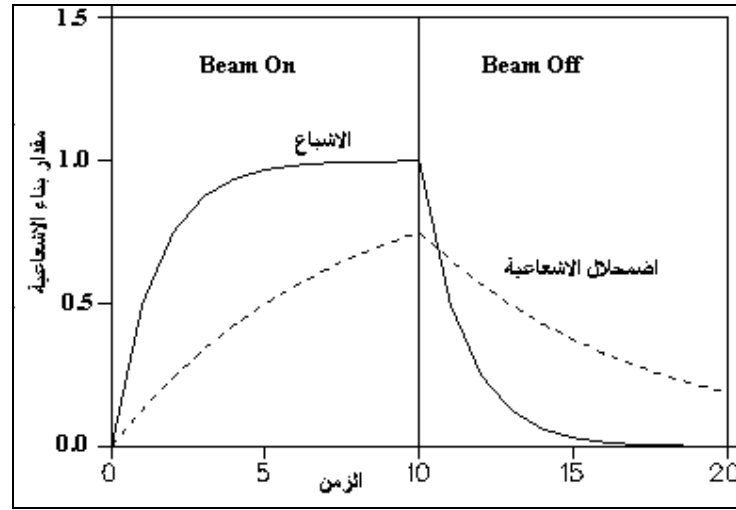


:(4)

(dry runs)

$$Time\ Limit = \frac{Dose\ Limit}{Dose\ Rate}$$

موقع الفريد في الفيزياء

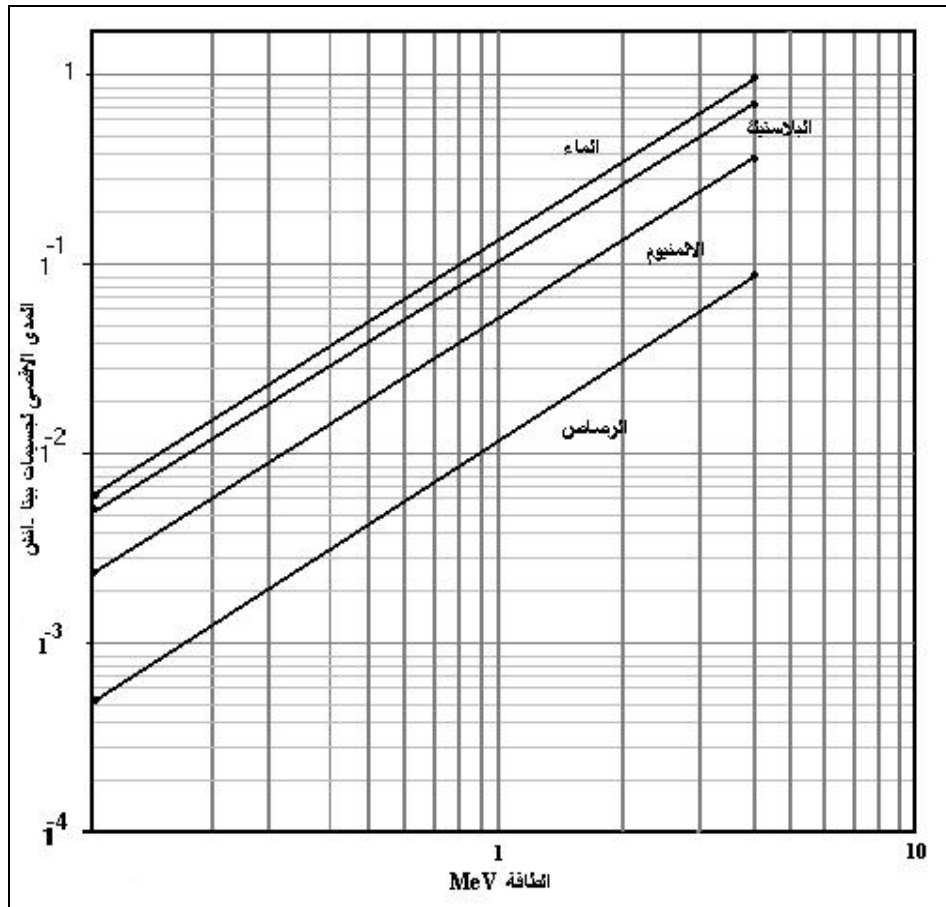


:(5)

-
-
-
-

$(7\text{mg} / \text{cm}^2)$

/
(1).



:(1)

موقع الفريد في الفيزياء

$$I(x) = I_0 e^{-\mu_\beta(\rho x)}$$

I : ρx : x : I_0 : μ_β : μ_β : (g/cm^2) : (g/cm^2) : (g/cm^2) : (i) : $()$

$$\mu_{\beta,air} = 16(E_{\beta,max} - 0.036)^{-1.4}$$

$$\mu_{\beta,tissue} = 18.6(E_{\beta,max} - 0.036)^{-1.37}$$

$$\mu_{\beta,i} = 17(E_{\beta,max})^{-1.14}$$

: 1000 : 2 : 0.1 : 2.7 : $()$: $2MeV$: $\mu_{\beta,AL} = 17(2)^{-1.14} = 7.714$:

$$0.01cm \times 2.7g/cm^3 = 0.0274g/cm^2$$

$$I(x) = I_0 e^{-\mu_\beta(\rho x)} = 1000e^{-7.714cm^2/g \times 0.0274g/cm^2} = 809.5\beta/cm^2.s$$

(2)

E

Z

:

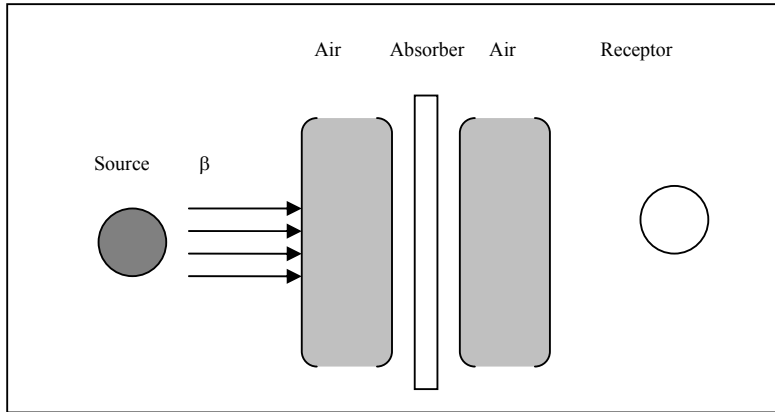
Y

$$Y = \frac{6 \times 10^{-4} EZ}{1 + 6 \times 10^{-4} EZ}$$

0.33

موقع الفريد في الفيزياء

$$^{90}\text{Sr}(E_{Max.} = 2.28\text{Mev}) \quad ^{32}\text{P}(E_{Max.} = 1.71\text{Mev})$$



:(2)

$$\frac{50}{1}$$

$$10$$

$$^{32}\text{P}$$

$$(E_{Max.} = 1.71\text{Mev})$$

$$(1.25\text{cm}^2 / \text{g}) \quad (0.8\text{g} / \text{cm}^2)$$

$$0.93\text{g} / \text{cm}^3$$

$$7.22$$

$$(0.8\text{g} / \text{cm}^2)$$

$$1.25 \frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \times 0.93 \frac{\text{g}}{\text{cm}^2} = 1.163\text{cm}^{-1} = 0.86\text{cm}$$

$$0.333$$

$$0.6$$

$$Y = \frac{6 \times 10^{-4} \times 1.71 \times 7.22}{1 + 6 \times 10^{-4} \times 1.71 \times 7.22} = 7.4 \times 10^{-3}$$

$$0.6$$

$$10$$

موقع الفريد في الفيزياء

$$E_{\beta} = 10Ci \times 3.7 \times 10^{10} Bq \times 0.6Mev = 2.22 \times 10^{11} Mev / sec.$$

Y

:

$$YE_{\beta} = 2.22 \times 10^{11} Mev / sec \times 7.4 \times 10^{-3} = 1.64 \times 10^9 Mev / sec$$

1.5

($4\pi r^2$)

)

(

$$3.4 \times 10^{-5} cm^{-1}$$

μ_{air}

$$: 0.00129g / cm^2$$

$$\dot{\Gamma} = \frac{1.64 \times 10^9 MeV / s \times 1.6 \times 10^{-6} erg / MeV \times 3600s / hr \times 3.4 \times 10^{-5} cm^{-1}}{4\pi(150cm)^2 \times 0.00129g / cm^3 \times 87.8erg / (g / R)} = 11.7mR / hr$$

1

$$0.048cm^2 / g$$

$$1.71MeV$$

$$\mu / \rho$$

$$: 0.55cm^{-1}$$

$$\mu$$

$$11.4g / cm^3$$

$$R = R_0 e^{-\mu x}$$

$$1 = 11.7 e^{-0.55x}$$

$$4.5$$

x

:

B

.(3)

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$$

(

)

1.31

10000

(5000)

$$\ln(0.5) = -\mu \times 1.31 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{0.693}{1.31 \text{ cm}} = 0.5278 \text{ cm}^{-1}$$

Half - Value - Layer (HVL)

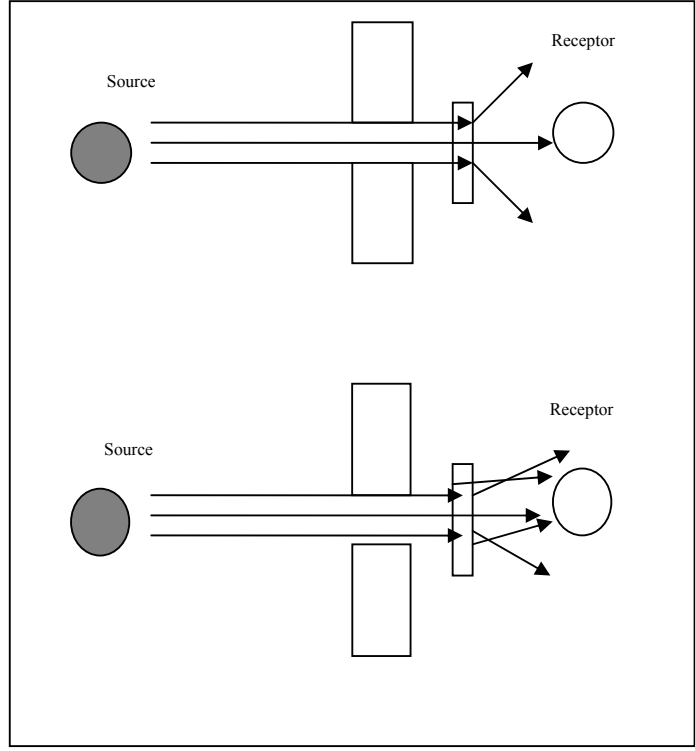
:

$$\frac{I(x)}{I_0} = \frac{1}{2} = e^{-\mu x_{1/2}} \Rightarrow x_{1/2} = \text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Tenth - Value - Layer (TVL)

$$\text{TVL} = \frac{\ln 10}{\mu} = \frac{2.3026}{\mu}$$

موقع الفريد في الفيزياء



() () (3):

1
200

/ 800
-2 / 150

-1

1.47cm

$$\mu = \frac{\ln 2}{HVL} = \frac{0.69135}{1.47cm} = 0.47cm^{-1}$$

: 200 800 -2

$$\frac{800}{200} = 2^n \Rightarrow n = 2$$

2
2.94cm 2

/ 150 -3

موقع الفريد في الفيزياء

$$150 = 800e^{0.47x}$$

:

$$\ln \frac{150}{800} = -1.674 = -0.47x$$

$$x = 3.55 \text{ cm}$$

:

$$\frac{800}{150} = 2^n$$

:

n

$$n \ln 2 = \ln \frac{800}{150} = 1.674$$

$$n = \frac{1.674}{\ln 2} = 2.4156 \text{ HVL}$$

$$x = 2.4156 \times 1.47 \text{ cm} = 3.55 \text{ cm}$$

:

()

(Buildup – factor)

B

:

$$I(x) = B I_0 e^{-\mu x}$$

(1)

μx

(Relaxation Lengths)

μx

(1)

موقع الفريد في الفيزياء

(1/e)

(10000 Photons / cm².s)

2

-1

-2

0.472 cm⁻¹

$$I(x) = 10000e^{-0.472\text{cm}^{-1} \times 2\text{cm}} = 3890 \text{ photon / cm}^2 .s$$

1.0 0.5

0.944

μx

(1)

0.5	1.41
0.944	1.8
1.0	1.85

$$I(x) = 1.8 \times 3890 = 7000 \text{ photon/cm}^2 .s$$

μx

Buildup – factor

(1)

Energy (MeV)		0.1	0.5	1	2	3	4	5	6	8	10
Aluminum (μx)	0.5	1.91	1.57	1.45	1.37	1.33	1.32	1.28	1.26	1.22	1.19
	1.0	2.86	2.28	1.99	1.78	1.68	1.62	1.54	1.49	1.41	1.35
	2.0	4.87	4.07	3.26	2.66	2.38	2.19	2.04	1.94	1.76	1.64
	3.0	7.07	6.35	4.76	3.62	3.11	2.78	2.54	2.37	2.11	1.93
	4.0	9.47	9.14	6.48	4.64	3.86	3.38	3.04	2.81	2.46	2.22
	5.0	12.1	12.4	8.41	5.72	4.64	3.99	3.55	3.26	2.82	2.52
	6.0	14.9	16.3	10.5	6.86	5.44	4.61	4.08	3.72	3.18	2.83
	7.0	18.0	20.7	12.9	8.05	6.26	5.24	4.61	4.19	3.55	3.14
	8.0	21.3	25.7	15.4	9.28	7.1	5.88	5.14	4.66	3.92	3.46
	10.0	28.7	37.6	21.0	11.9	8.83	7.18	6.23	5.61	4.68	4.12
	15.0	51.7	78.6	37.7	18.9	13.4	10.5	9.03	8.09	6.64	5.87
	20.0	81.1	137	57.9	26.6	18.1	14.0	11.9	10.7	8.68	7.74
	25.0	117	213	81.3	34.9	23.0	17.5	14.9	13.3	10.8	9.74
	30.0	159	307	107	43.6	28.1	21.0	18.0	16.0	13.0	11.8
Iron μx	0.5	1.26	1.48	1.41	1.35	1.32	1.3	1.27	1.25	1.22	1.19
	1.0	1.4	1.99	1.85	1.71	1.64	1.57	1.51	1.47	1.39	1.33
	2.0	1.61	3.12	2.85	2.49	2.28	2.12	1.97	1.87	1.71	1.59
	3.0	1.78	4.44	4	3.34	2.96	2.68	2.46	2.3	2.04	1.86
	4.0	1.94	5.96	5.3	4.25	3.68	3.29	2.98	2.76	2.41	2.16
	5.0	2.07	7.68	6.74	5.22	4.45	3.93	3.53	3.25	2.81	2.5
	6.0	2.2	9.58	8.31	6.25	5.25	4.6	4.11	3.78	3.24	2.87
	7.0	2.31	11.7	10.0	7.33	6.09	5.31	4.73	4.33	3.71	3.27
	8.0	2.41	14.0	11.8	8.45	6.96	6.05	5.38	4.92	4.2	3.71
	10.0	2.61	19.1	15.8	10.8	8.8	7.6	6.75	6.18	5.3	4.69
	15.0	3.01	35.1	27.5	17.4	13.8	11.9	10.7	9.85	8.64	7.88
	20.0	3.33	55.4	41.3	24.6	19.4	16.8	15.2	14.2	12.9	12.3
	25.0	3.61	79.9	57.0	32.5	25.4	22.1	20.3	19.3	18.2	18.1
	30.0	3.86	108	74.5	40.9	31.7	27.9	25.9	25.1	24.5	25.7
Water (μx)	0.5	2.37	1.6	1.47	1.38	1.34	1.31	1.28	1.27	1.23	1.2
	1.0	4.55	2.44	2.08	1.83	1.71	1.63	1.56	1.51	1.43	1.37
	2.0	11.8	4.88	3.62	2.81	2.46	2.24	2.08	1.97	1.8	1.68
	3.0	23.8	8.35	5.5	3.87	3.23	2.85	2.58	2.41	2.15	1.97
	4.0	41.3	12.8	7.68	4.98	4	3.46	3.08	2.84	2.46	2.25
	5.0	65.2	18.4	10.1	6.15	4.8	4.07	3.58	3.27	2.82	2.53
	6.0	96.7	25.0	12.8	7.38	5.61	4.68	4.08	3.7	3.15	2.8
	7.0	137	32.7	15.8	8.65	6.43	5.3	4.58	4.12	3.48	3.07
	8.0	187	41.5	19.0	9.97	7.27	5.92	5.07	4.54	3.8	3.34
	10.0	321	62.9	26.1	12.7	8.97	7.16	6.05	5.37	4.44	3.86
	15.0	938	139	47.7	20.1	13.3	10.3	8.49	7.41	5.99	5.14
	20.0	2170	252	74.0	28	17.8	13.4	10.9	9.42	7.49	6.38
	25.0	4360	403	104	36.5	22.4	16.5	13.3	11.4	8.96	7.59
	30.0	7970	594	1391	45.2	27.1	19.7	15.7	13.3	10.4	8.78

(1).

Concrete μX	0.5	1.89	1.57	1.45	1.37	1.33	1.31	1.27	1.26	1.22	1.19
	1.0	2.78	2.27	1.98	1.77	1.67	1.61	1.53	1.49	1.41	1.35
	2.0	4.63	4.03	3.24	2.65	2.38	2.18	2.04	1.93	1.76	1.64
	3.0	6.63	6.26	4.72	3.6	3.09	2.77	2.53	2.37	2.11	1.93
	4.0	8.8	8.97	6.42	4.61	3.84	3.37	3.03	2.8	2.45	2.22
	5.0	11.1	12.2	8.33	5.68	4.61	3.98	3.54	3.25	2.81	2.51
	6.0	13.6	15.9	10.4	6.8	5.4	4.6	4.05	3.69	3.16	2.8
	7.0	16.3	20.2	12.7	7.97	6.2	5.23	4.57	4.14	3.51	3.1
	8.0	19.2	25.0	15.2	9.18	7.03	5.86	5.09	4.6	3.87	3.4
	10.0	25.6	36.4	20.7	11.7	8.71	7.15	6.15	5.52	4.59	4.01
	15.0	44.9	75.6	37.2	18.6	13.1	10.5	8.85	7.86	6.43	5.57
	20.0	69.1	131	57.1	26.0	17.7	13.9	11.6	10.2	8.31	7.19
	25.0	97.9	203	80.1	33.9	22.5	17.4	14.4	12.7	10.2	8.86
30.0	131	290	106	42.2	27.4	20.9	17.3	15.2	12.2	10.6	
Lead μX	0.5	1.51	1.14	1.2	1.21	1.23	1.21	1.25	1.26	1.3	1.28
	1.0	2.04	1.24	1.38	1.4	1.4	1.36	1.41	1.42	1.51	1.51
	2.0	3.39	1.39	1.68	1.76	1.73	1.67	1.71	1.73	1.9	2.01
	3.0	5.6	1.52	1.95	2.14	2.1	2.02	2.05	2.08	2.36	2.63
	4.0	9.59	1.62	2.19	2.52	2.5	2.4	2.44	2.49	2.91	3.42
	5.0	17.0	1.71	2.43	2.91	2.93	2.82	2.88	2.96	3.59	4.45
	6.0	30.6	1.8	2.66	3.32	3.4	3.28	3.38	3.51	4.41	5.73
	7.0	54.9	1.88	2.89	3.74	3.89	3.79	3.93	4.13	5.39	7.37
	8.0	94.7	1.95	3.1	4.17	4.41	4.35	4.56	4.84	6.58	9.44
	10.0	294	2.1	3.51	5.07	5.56	5.61	6.03	6.61	9.73	15.4
	15.0	5800	2.39	4.45	7.44	8.91	9.73	11.4	13.7	25.1	50.8
	20.0	1.3×10^5	2.64	5.27	9.98	12.9	15.4	19.9	26.6	62.0	161
	25.0	$33. \times 10^6$	2.85	5.98	12.6	17.5	23.0	32.9	49.6	148	495
30.0	8.8×10^7	3.02	6.64		22.5	32.6	52.2	88.9	344	1470	

:

^{42}K

/ 2.5

10

% 82

3.52

^{42}K

% 18

2

:

% 82

% 18

1.52

:

$$\dot{\Gamma} = 0.5 \times CE = 0.5 \times 10 \text{ Ci} \times (0.18 \times 1.52 \text{ MeV}) = 1.37 \text{ R/hr}$$

:

0.536 cm^{-1}

μ

موقع الفريد في الفيزياء

$$2.5mR/hr = 1370mR/hr e^{-0.536x}$$

$$x = 11.8cm$$

:

-

:

$$HVL = \frac{0.693}{0.536cm^{-1}} = 1.29cm$$

$$\mu x \quad 11.8 + 1.29 = 13.1cm$$

(1)

$$\mu x = 0.536 \times 13.1 = 7.02$$

:

$$B = 3.35$$

$$I = 3.35 \times 1370 e^{-7.02} = 4.1mR/hr$$

y

:

$$/ \quad 2.4$$

$$e^{-y} = \frac{2.4}{4.1} \Rightarrow y = 0.536 = \mu x$$

μx

$$7.56cm = (0.536 + 7.02)$$

μx

:

$$3.53 \quad (\quad)$$

$$I = 3.53 \times 1370 e^{-7.56} = 2.52 mR/hr$$

:

144

²²Na

1.37

2.75

6

/

20

:

$$0.061cm^{-1} \quad 0.043cm^{-1}$$

:

6

موقع الفريد في الفيزياء

$$\dot{\Gamma} = \frac{0.5 \times CE}{6^2} = \frac{0.5 \times 144 \text{ Ci} \times (2.75 \text{ MeV})}{36} = 5.5 \text{ R/hr}$$

:

$$20 \text{ mR / hr} = (5500 \text{ mR / hr}) \times e^{-\mu_1 x}$$

$$\mu_1 x = 5.62$$

$$x = 130.1 \text{ cm}$$

$$\mu x = 2.8 \quad \mu = 0.693 \times 2.8 = 1.98 \quad \mu x = 7.5 \quad x_{0.5} = 0.693 / \mu = 7.6$$

:

$$\dot{\Gamma}_{2.75} = 7.5 \times 5500 \frac{\text{mR}}{\text{hr}} e^{-7.6} = 20 \frac{\text{mR}}{\text{hr}}$$

$$\dot{\Gamma} = 0.1 \mu x = 18.5 \quad \mu x = 7.44 \quad \mu x = 7.7$$

$$\dot{\Gamma} = 10.9 \quad \mu x = 0.043 \quad \mu x = 0.061 \quad \mu x = 7.7$$

$$\dot{\Gamma} = 24.8$$

$$\dot{\Gamma}_{1.37} = \frac{0.5 \times CE}{6^2} = \frac{0.5 \times 144 \text{ Ci} \times (1.37 \text{ MeV})}{36} = 2.74 \text{ R/hr}$$

:

$$\dot{\Gamma}_{1.37} = 24.8 \times 2740 \frac{\text{mR}}{\text{hr}} e^{-10.9} = 1.25 \frac{\text{mR}}{\text{hr}}$$

$$\dot{\Gamma} = 19.8$$

$$\dot{\Gamma} = 0.043 \quad \mu x = 7.7$$

$$\dot{\Gamma} = 179$$

:

$$19.8 \times \left(\frac{600}{179}\right)^2 = 222 \text{ mR / hr}$$

:

موقع الفريد في الفيزياء

/ 0.1
500
500 / 1

(4)

8 (/ 1) ()
60 (/ 0.1)
26
- 115
0.4) (/ 0.02) (/

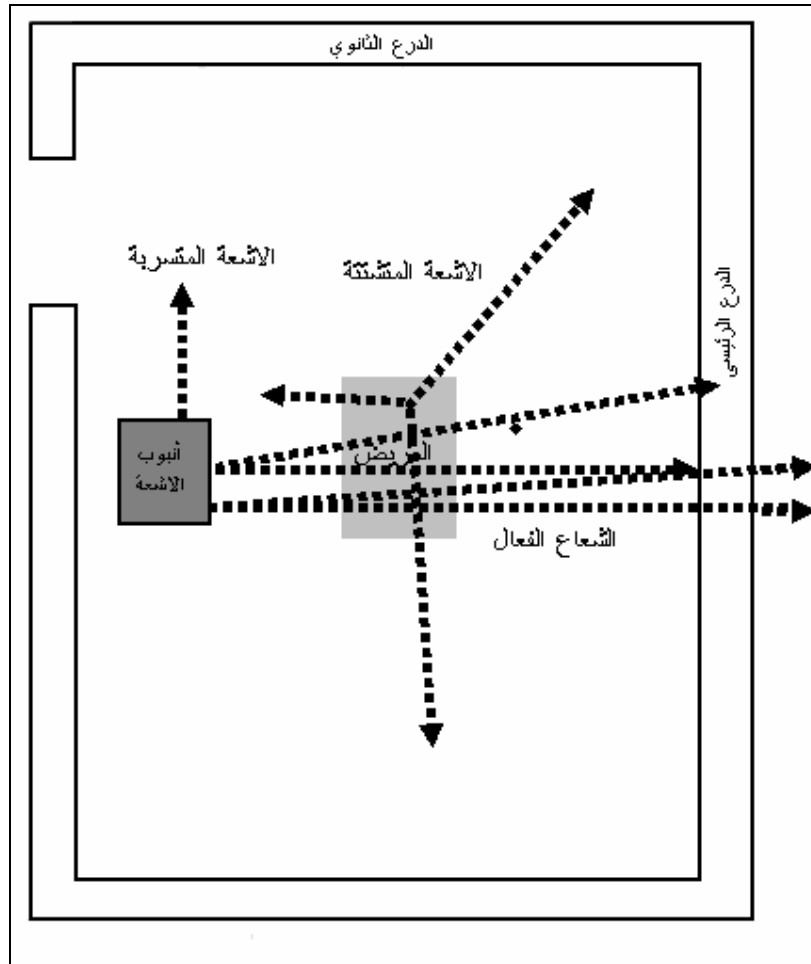
ALARA

:

موقع الفريد في الفيزياء

K – Transmitted Factor

(8-5)



(4):

P (permissible weekly exposure) -1

I (weekly workload) -2

W

موقع الفريد في الفيزياء

$$U \quad -3$$

1/4

$$T \quad -4$$

(2)

$$(\quad) \quad d \quad -5$$

: K

$$K = \frac{Pd^2}{WUT}$$

:(2)

$$T = 1$$

$$T = 1/4$$

$$T = 1/16$$

220

125

90

4.5

$$P = 0.002R$$

1/4

$$d = 4.5m$$

$$U = 1/3$$

$$K \quad . W = 220mA \times 1.5 \text{ min} . = 330mA \cdot \text{min} / wk$$

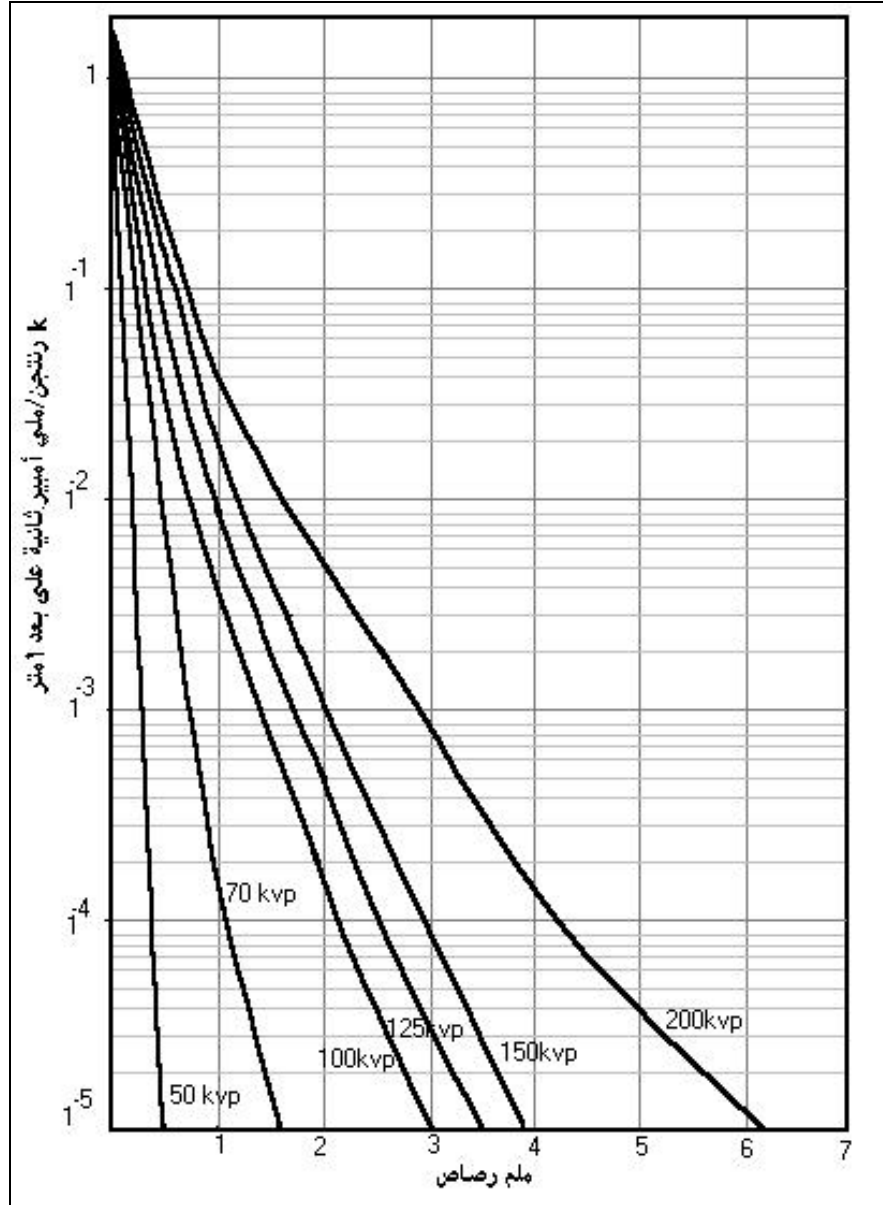
$$K = \frac{0.002 \times (4.5)^2}{330 \times 1/3 \times 1/4} = 1.5 \times 10^{-3} \frac{R}{mA \cdot \text{min}} \text{ at } 1 \text{ m}.$$

20.3

1.8

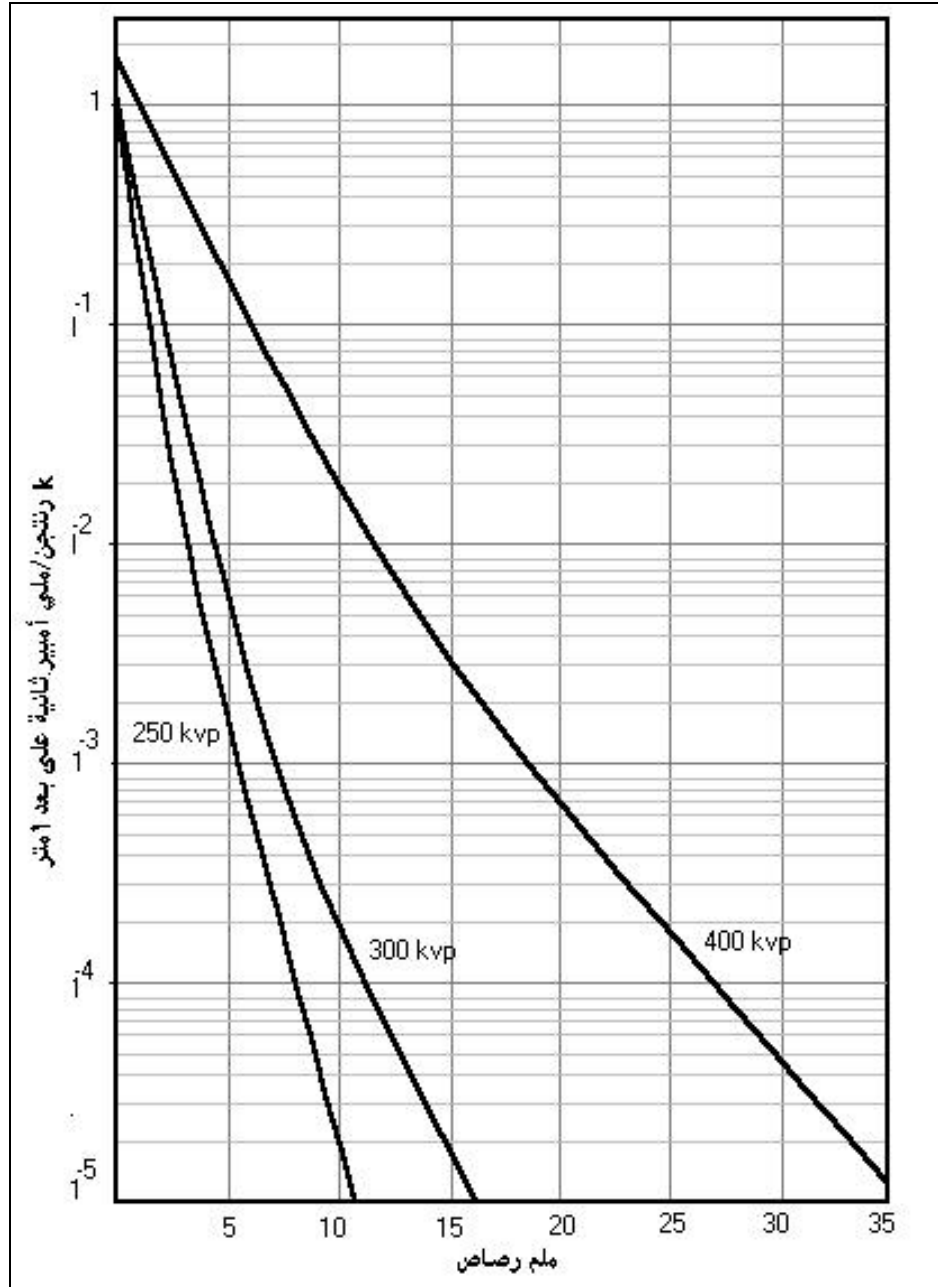
(5)

موقع الفريد في الفيزياء



[123]

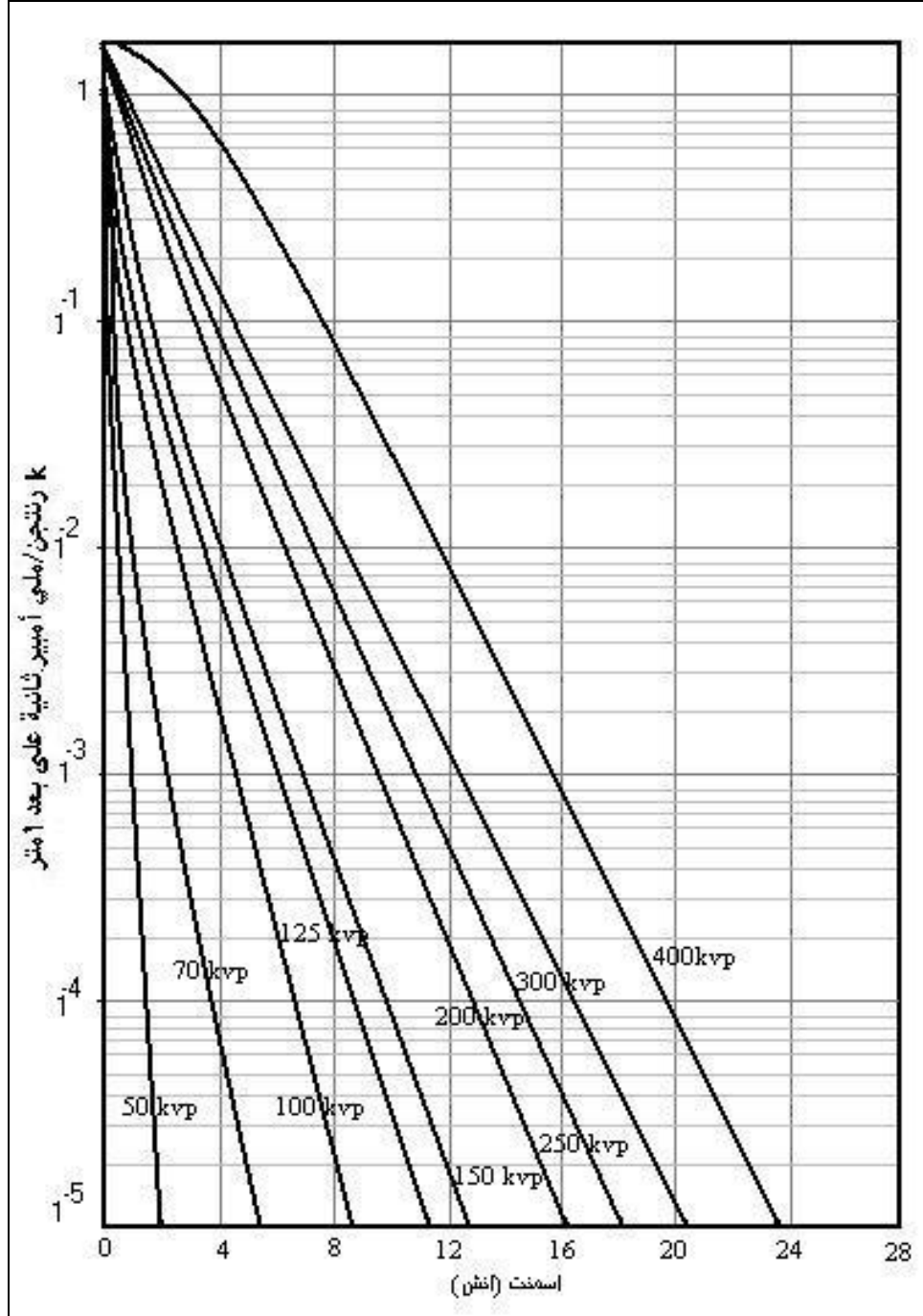
:(5)



[123]

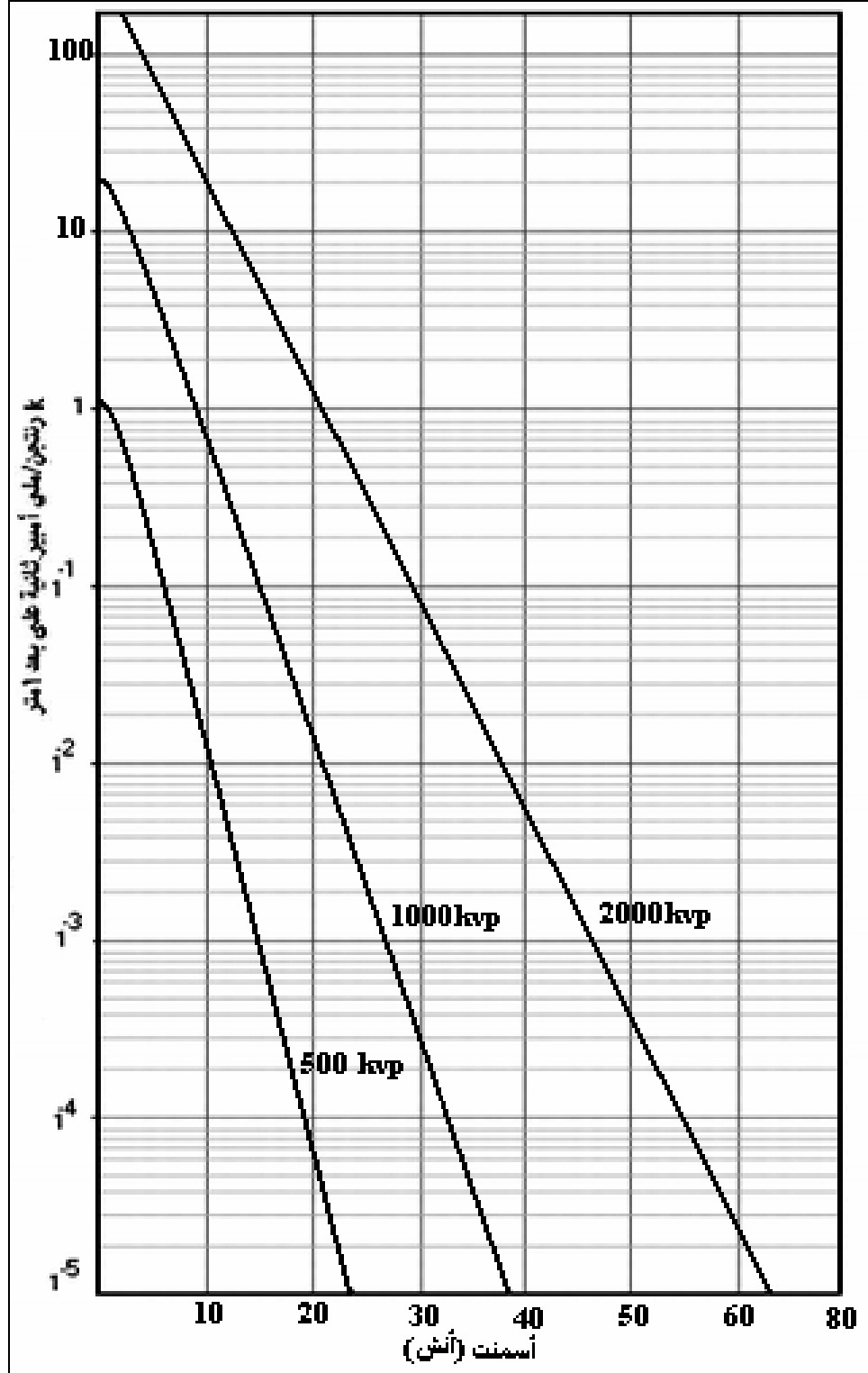
:(6)

موقع الفريد في الفيزياء



[123]

:(7)



[123]

(8):

:

.á

0.1R/hr

1R/hr

500) ()
 . % 0.1 1R/hr ()
 . Yt

t

: d 60

$$\frac{Yt}{60d^2} =$$

T P

:

B

$$P = B \frac{YtT}{60d^2} \Rightarrow B = \frac{60IPd^2}{YWT}$$

:

B

$$N = -\frac{\ln B}{\ln 2} = -\frac{\ln B}{0.693}$$

موقع الفريد في الفيزياء

(3)

()

(3)

TVL (cm) Steel $\rho = 3.35$ g/cm ³	TVL (cm) Concrete $\rho = 3.35$ g/cm ³	HVL (cm) Concrete $\rho = 3.35$ g/cm ³	TVL (mm) Lead $\rho = 11.3$ g/cm ³	HVL (mm) Lead $\rho = 11.3$ g/cm ³	kVp kV
	1.5	0.43	0.17	0.06	50
	2.8	0.84	0.25	0.17	70
	5.3	1.6	0.88	0.27	100
	6.6	2.0	0.93	0.28	125
	7.4	2.24	0.99	0.3	150
	8.4	2.5	1.7	0.52	200
	9.4	2.8	2.9	0.88	250
	10.4	3.1	4.8	1.47	300
	10.9	3.3	8.3	2.5	400
	11.7	3.6	11.9	3.6	500
4.5	14.7	4.4	26	7.9	1000
6.8	21	6.4	42	12.5	2000
8.5	24.5	7.4	48.5	14.5	3000
9.1	29.2	8.8	53	16	4000
9.9	34.5	10.4	56	16.9	6000
10.3	37.8	11.4	56	16.9	8000
10.5	39.6	11.9	55	16.9	10000
10.9	44.5		55		18000
11	45.7		55		20000
11	47		55		24000
5.3	15.7	4.8	21.6	6.5	Cs- 137
6.9	20.6	6.2	40	12	Co- 60

:

290

26

/ . 24000

3

:

/ 1 Y 500

(P = 0.002) (T = 1)

: B / . 24000

موقع الفريد في الفيزياء

$$B = \frac{60 \times 26 \times 0.002 \times 9}{1 \times 24000 \times 1} = 1.17 \times 10^{-3}$$

$$N = -\frac{\ln(1.17 \times 10^{-2})}{0.693} = 9.7$$

$$1.3mm \quad (3) \quad 290$$

.

$$13$$

500

1000

1000

K

a

f

K

K

90

(4)

f

(4)

f	(KVp)
1	500
20	1000
300	2000
700	3000

K

:1

$$K = \frac{P \times d_1^2 \times d^2}{a \times fWT}$$

d ()

d₁

80

d₁

a

:

0.001 90 a

$$K = \frac{1000Pd^2}{fWT}$$

:

:

:

K

$$K = \frac{1000 \times 0.002 \times 9}{1 \times 24000 \times 1} = 7.5 \times 10^{-4}$$

6

(6)

8

(3)

3

(6) 3

:

(NCRP)

1977 51

1976 49

32

40

موقع الفريد في الفيزياء

:

$$W = P \times d \times w \times D$$

D w d P

%10

:

$$W_1 d_1^2 = W_2 d_2^2$$

.(2)

:

.(9)

: A

$$A = \frac{WUT(d_1 / d_2)^2}{H}$$

H T U W

1 20
 10^{-3}

1/3

(3)

2^n

10^n

:

$$n = \frac{\ln A}{\ln 10} = \frac{\ln A}{2.3}$$

n

:

10

10400

4

/

موقع الفريد في الفيزياء

:

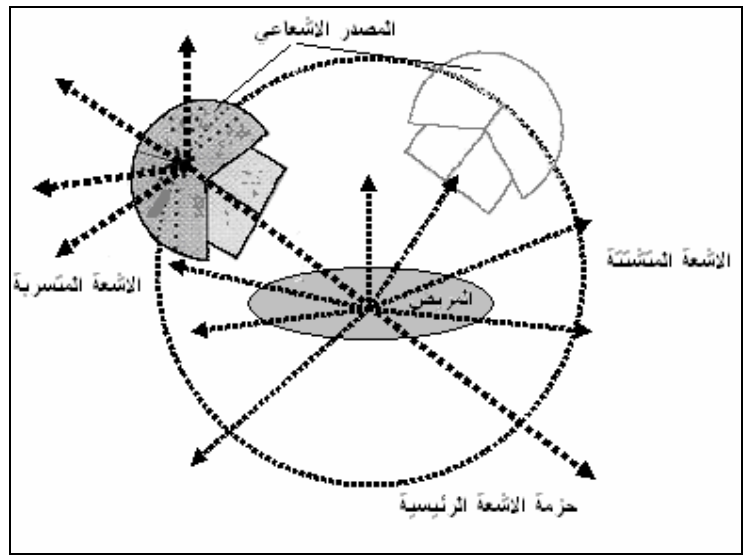
	0.001	H		
$(d_1 / d_2)^2$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	0.000333	$\frac{1}{3}$
	: A		$(1/4)^2 = 0.0625$	

$$A = \frac{10400 \times 0.25 \times 0.25 \times 0.0625}{0.00033} = 123106$$

:

$$N = \frac{\ln A}{\ln 10} = \frac{\ln 123106}{2.3} = 5.1$$

10				
200				(3)



:(9)

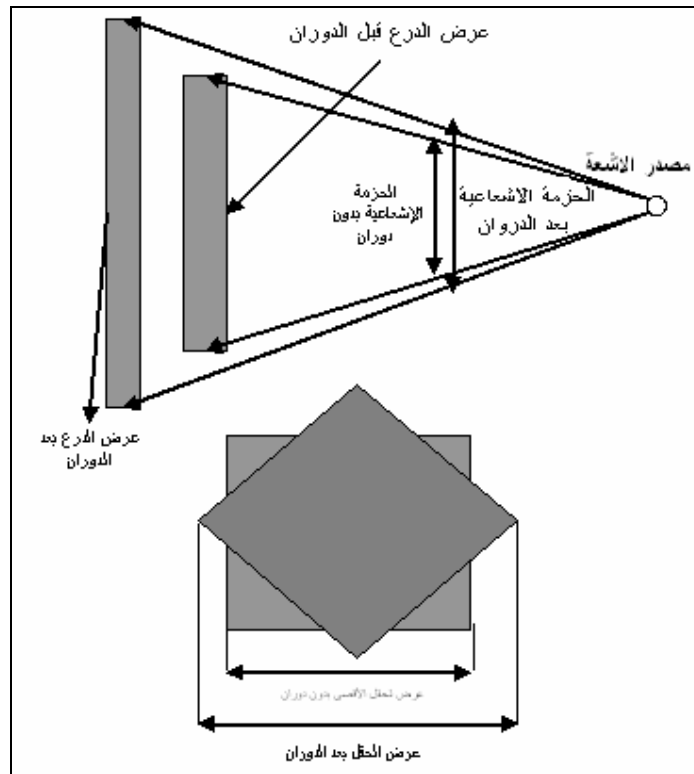
$$(40 \times 40) \text{cm}^2$$

(10)

$$A = \frac{WUT(d_1/d_2)^2}{H} \times L$$

[124,125] 0.001

L



:(10)

D_i B

:

$$B = (1.67 \times 10^{-5}) \frac{H \times d_t^2 \times d_b^2}{D_i \times \alpha \times A_F \times T}$$

موقع الفريد في الفيزياء

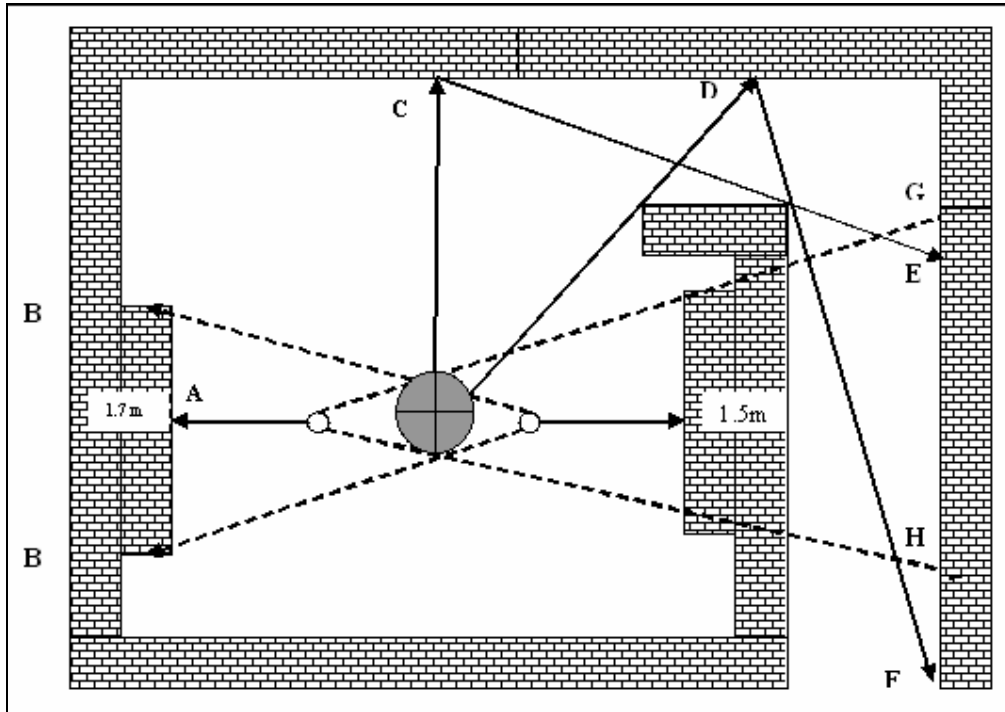
() d_b d_t
 α () A_F
 (5)
 (7)
 :
 3 0.5 -:
)
 90 500 (
 180 250
 10 3 -:
 90 0.5
 α -:
 0.01 10
 (11) ()

α (5)

()					kVp (Kv)
135	90	60	45	30	
0.001	0.00035	0.00025	0.0002	0.0005	50
0.0013	0.0005	0.00035	0.00035	0.000065	70
0.0022	0.0013	0.0012	0.0012	0.0015	100
0.0025	0.0015	0.0015	0.0015	0.0018	125
0.0026	0.0016	0.0016	0.0016	0.002	150
0.0028	0.0019	0.0019	0.002	0.0024	200
0.0028	0.0019	0.0019	0.0021	0.0025	250
0.0028	0.0019	0.002	0.0022	0.0026	300
-	-	-	0.0027	-	4000
0.0004	0.0006	0.0011	0.0018	0.004	6000
0.0019	0.0028	0.0041	0.005	0.0065	Cs- 137
0.0006	0.0009	0.0023	0.0036	0.006	Co- 60

% 10

(11)
 6
 α 4 % 0.1 3 D (20×20)cm²
 90 0.0006
 EF



(11)

D_L D_1 D C D_s

: D_1

موقع الفريد في الفيزياء

$$D_1 = D_s + D_L = \frac{D}{d_1^2} (\alpha_1 A_1 + L) =$$

$$\frac{3Gy \times 60 \text{ min}}{4^2} \times (0.0006 + 10^{-3}) = 18 \times 10^{-3} \text{ Sv h}^{-1}$$

90 : α_2 D_1 D_2 EF 0.022

(3.5m × 3.3m) 6

$$D_2 = D_1 \frac{\alpha_2 A_2}{d_2^2} =$$

$$18 \times 10^{-3} \times \frac{0.022 \times 3.3 \times 3.5}{6^2} \text{ Sv h}^{-1} = 127 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

:

$$D_3 = D_2 \frac{\alpha_3 A_3}{d_3^2} =$$

$$127 \times \frac{0.022 \times 4.3 \times 3.5}{(2.7)^2} \mu\text{Sv h}^{-1} = 6 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

GH

6.7 4.75 1.5

$$D_T = \frac{D \times 10^{-N}}{d^2} = \frac{3 \times 60 \times 10^{-4.75}}{6.7^2} = 71 \mu\text{Sv h}^{-1}$$

3.5m × 3.5m 4 1.2 μSv h⁻¹

10

12

10

ϕ_{sc}

ϕ_{dir}

:

$$\phi_T = \phi_{dir} + \phi_{sc} = \frac{aQ}{4\pi R^2} + 5.4 \frac{aQ}{S}$$

موقع الفريد في الفيزياء

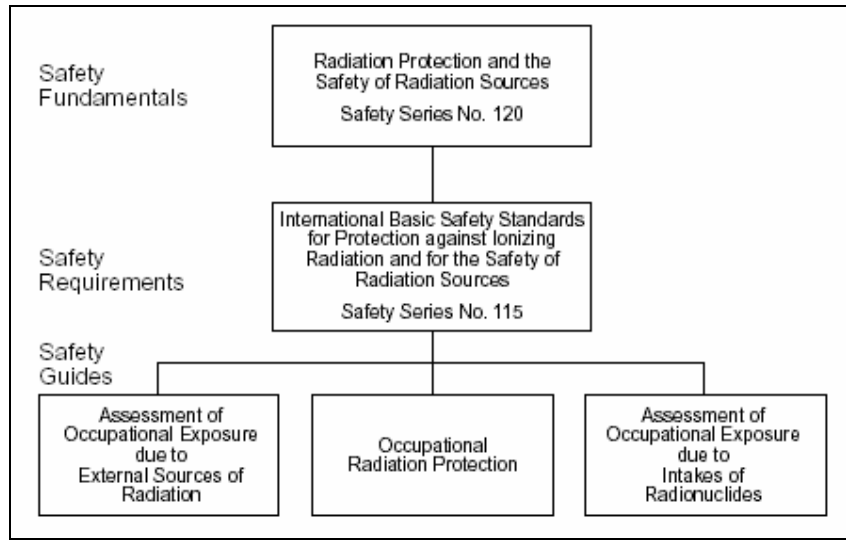
	a	S	Q
.	1.0	0.85	
	1		
.	47		21
			20
0.5	6		
.	25		

40-

(40-)

(

.(1)



:(1)

:

20

50 100

150

500

β 2 1

موقع الفريد في الفيزياء

	50	6	150
	50		20
50	20		100
50		100	
	5	1	
	1	50	15
1			5

$$E_T = H_{(P)}(d) + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh}$$

$H_{(P)}(d)$
 $e(g)_{j,inh} \quad e(g)_{j,ing}$
 $I_{j,ing} \quad I_{j,inh}$

1- 0.05	$H_{(P)}(0.07)$	0.07
3		0.07
	$H_{(P)}(10)$	10
		.60
		$H_{(P)}(3)$
		ICRP

1000

:

IAEA

BBS

$(H_T - \text{equivalent dose})$

$(E - \text{Effective dose})$

D K ϕ

$(H^*(d) - \text{ambient dose equivalent})$

ICRU

$H_p(d)$

$(H^*(d, \Omega) - \text{Directional dose equivalent})$

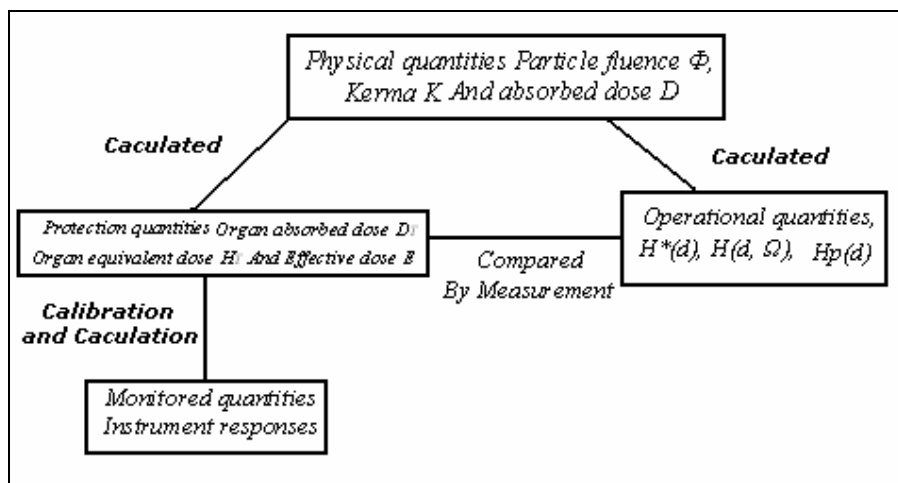
54

ICRU 74

ICRP

Q W_R

(2)

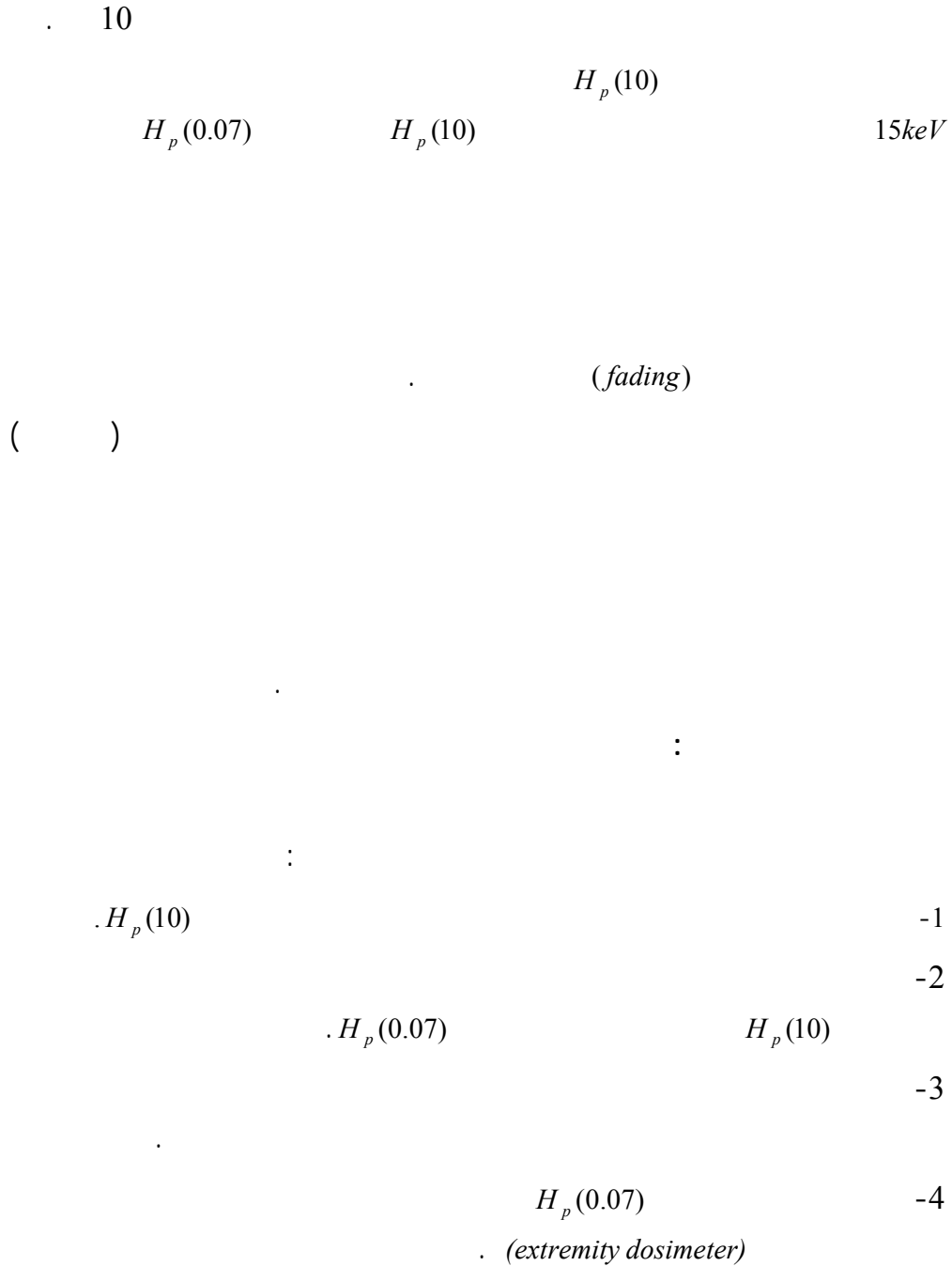


: (2)

d

d

موقع الفريد في الفيزياء



$\cdot H_p(10)$

-5

(RPL - radiophoto luminescent glass) TLD

TLD

TLD

0.07

albedo

B

(-)

(-)

()

:

1997 75 ICRP
 (2σ) %95 %10

1.5

%50+ 33-

% 10

1

L

R

:

$$R = L \times \frac{\text{Monitoring period in months}}{12}$$

1

0.25

1

()

0.08

1.5

:

R_{UL}

$$R_{UL} = 1.5 \times \left[1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_1} \right]$$

H_0

H_1

:

R_{LL}

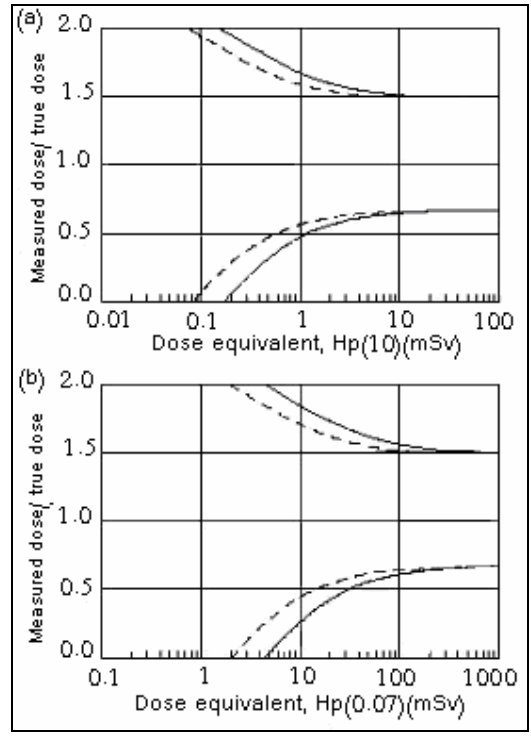
$$R_{LL} = \begin{cases} 0 & \text{for } H_1 < H_0 \\ \frac{1}{1.5} \times \left[1 + \frac{2H_0}{H_0 + H_1} \right] & \text{for } H_1 \geq H_0 \end{cases}$$

(3)

.1.5

(

(fading)



:(3)

موقع الفريد في الفيزياء

$(30 \times 30 \times 15) \text{cm}^3$

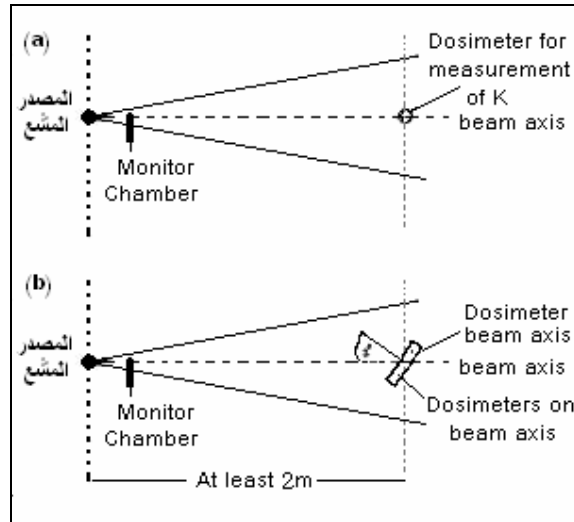
(ICRP-74, ICRU-57)

ISO

(4-a)

monitor – chamber

2



(4)

(D)

$(K_a) - \text{air} - \text{Kerma}$

(C)

(K_a)

2

(2)

$H_p(10, \alpha)$

(1)

$(K_a \times C) / D$

(H)

(4-b)

(α)

$(H \times D) / (K_a \times C)$

$H_p(10, \alpha)$

(H)

(ICRU slab) $H_p(10,0^0)$ K_α : (1)

Energy (MeV)	$H_p(10,0^0)/K_\alpha$ (Sv/Gy)	Ratio $H_p(10,\alpha)/H_p(10,0^0)$ for angles α					
		0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.010	0.009	1.000	0.889	0.556	0.222	0.000	0.000
0.015	0.264	1.000	0.966	0.822	0.576	0.261	0.030
0.020	0.611	1.000	0.982	0.913	0.763	0.520	0.167
0.030	1.112	1.000	0.984	0.950	0.868	0.716	0.411
0.040	1.490	1.000	0.986	0.959	0.894	0.760	0.494
0.050	1.766	1.000	0.988	0.963	0.891	0.779	0.526
0.060	1.892	1.000	0.988	0.969	0.911	0.793	0.561
0.080	1.903	1.000	0.997	0.970	0.919	0.809	0.594
0.100	1.811	1.000	0.992	0.972	0.927	0.834	0.612
0.200	1.492	1.000	0.997	0.991	0.959	0.900	0.724
0.300	1.369	1.000	1.000	0.996	0.984	0.931	0.771
0.400	1.300	1.000	1.004	1.001	0.993	0.955	0.814
0.500	1.256	1.000	1.005	1.002	1.001	0.968	0.846
0.600	1.226	1.000	1.005	1.004	1.003	0.975	0.868
0.800	1.190	1.000	1.001	1.003	1.007	1.987	0.892
1.0	1.167	1.000	1.000	0.996	1.009	0.990	0.910
1.5	1.139	1.000	1.002	1.003	1.006	0.997	0.934
3.0	1.117	1.000	1.005	1.010	0.998	0.998	0.958
6.0	1.109	1.000	1.003	1.003	0.992	0.997	0.995
10.0	1.111	1.000	0.998	0.995	0.989	0.992	0.966

(ICRU slab) $H_p(0.07,0^0)$ K_α : (2)

Energy (MeV)	$H_p(0.07,0^0)/K_\alpha$ (Sv/Gy)	Ratio $H_p(0.07,\alpha)/H_p(0.07,0^0)$ for angles α					
		0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.005	0.750	1.000	0.991	0.956	0.895	0.769	0.457
0.010	0.947	1.000	0.996	0.994	0.987	0.964	0.904
0.020	1.045	1.000	0.996	0.996	0.987	0.982	0.948
0.030	1.230	1.000	0.990	0.989	0.972	0.946	0.897
0.040	1.444	1.000	0.994	0.990	0.965	0.923	0.857
0.050	1.632	1.000	0.994	0.979	0.954	0.907	0.828
0.060	1.716	1.000	0.995	0.984	0.961	0.913	0.837
0.080	1.732	1.000	0.994	0.991	0.966	0.927	0.855
0.100	1.669	1.000	0.993	0.990	0.973	0.946	0.887
0.150	1.518	1.000	1.001	1.005	0.995	0.977	0.950
0.200	1.432	1.000	1.001	1.001	1.003	0.997	0.981
0.300	1.336	1.000	1.002	1.007	1.010	1.019	1.013
0.400	1.280	1.000	1.002	1.009	1.016	1.032	1.035
0.500	1.244	1.000	1.002	1.008	1.020	1.040	1.054
0.600	1.220	1.000	1.003	1.009	1.019	1.043	1.057
0.800	1.189	1.000	1.001	1.008	1.019	1.043	1.062
1.000	1.173	1.000	1.002	1.005	1.016	1.038	1.060

:

(Reference Instrument)

PS

SS

(Reference source)

(Tertiary)

(SSDL)

()

(*N-Calibration factor*)

: *M*

H

$$N = \frac{H}{M}$$

Response

موقع الفريد في الفيزياء

H ϕ : $R_{\phi,H}$

$$R_{\phi} = \frac{M}{\phi}, R_H = \frac{M}{H}$$

%90

K_a (C) h_k : H

$$h_k = \frac{H}{K_a}$$

: H ϕ

$$h_k = \frac{H}{\phi}$$

H H M $I(\%)$

$$I(\%) = \frac{H - M}{H} \times 100\%$$

Overload

E_{eff} HVL w

ISO

(1-a) (30×30×15)

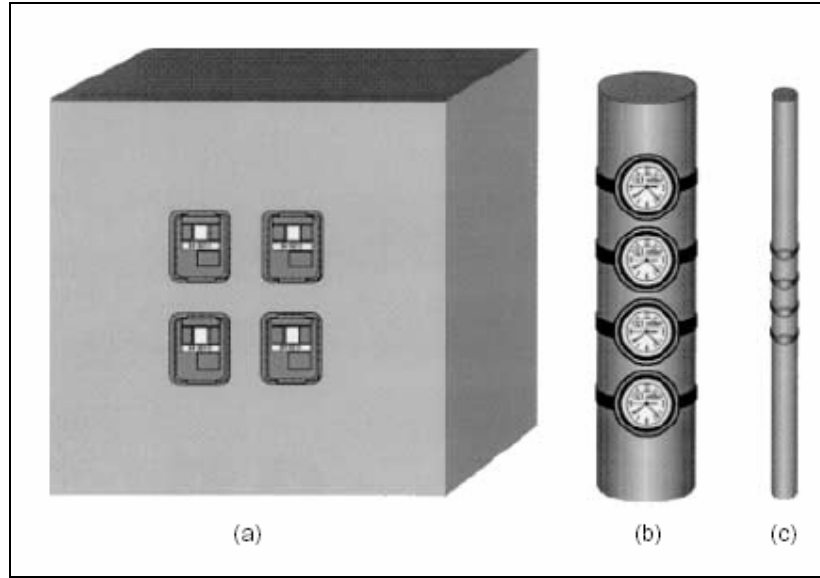
7.3 ISO – Water Pillar

(1-b) 30

30 1.9 ISO – PMMA rod phantom

(1-c)

موقع الفريد في الفيزياء



phantoms : (1)

3 / 1 30 ICRU
%2.6 %11.1 %10.1 %76.2
(ICRU - tissue)

(2)

(1)

(16 SRS) (1)

Influence quantities	Reference conditions	Standard test conditions (unless otherwise indicated)
Photon radiation	$^{137}\text{Cs}^a$	$^{137}\text{Cs}^a$
Neutron radiation	$^{241}\text{Am}/\text{Be}^a$	$^{241}\text{Am}/\text{Be}^a$
Beta radiation	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}^a$	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}^a$
Surface contamination		
Beta radiation	^{204}Tl	^{204}Tl
Alpha radiation	^{241}Am	^{241}Am
Phantom (only in the case of personal dosimeters)	30 cm × 30 cm × 15 cm slab of ICRU tissue (for whole body dosimeters)	ISO water slab phantom
	Right circular cylinder of ICRU tissue of 73 mm diameter and 300 mm length (for wrist or ankle dosimeters)	ISO water pillar phantom
	Right circular cylinder of ICRU tissue of 19 mm diameter and 300 mm length (for finger dosimeters)	ISO PMMA rod phantom
Angle of radiation incidence ^b	$\alpha = 0^\circ$	$A = 0^\circ \pm 5^\circ$
Contamination by radioactive elements	Negligible	Negligible
Radiation background	Ambient dose equivalent rate $H^*(10)$ 0.1 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ or less if practical	Ambient dose equivalent rate $H^*(10)$ less than 0.25 $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

(16 SRS) (2)

Influence quantities	Reference conditions	Standard test conditions (unless otherwise indicated)
Ambient temperature	20°C	18–22°C ^{c, u}
Relative humidity	65%	50–75% ^{c, d}
Atmospheric pressure	101.3 kPa	86–106 kPa ^{c, d}
Stabilization time	15 min	>15 min
Power supply voltage	Nominal power supply voltage	Nominal power supply voltage ±3%
Frequency ^e	Nominal frequency	Nominal frequency ±1%
AC power supply	Sinusoidal	Sinusoidal with distortion less than 5% ^e
Electromagnetic field of external origin	Negligible	Less than the lowest value that causes interference
Magnetic induction of external origin	Negligible	Less than twice the value of the earth's magnetic field
Assembly controls	Set-up for normal operation	Set-up for normal operation

:

(2)

R

N_R

$M_R \quad h$

H

:

$$H = hN_R M_R$$

$h = 1$

$H(d)$

K_a

h

(3)

% 2

(2)

I

R

:

N_R

H

$$N_R = \frac{H}{hM_R}$$

:

N_I

$$N_I = \frac{H}{M_I}$$

:

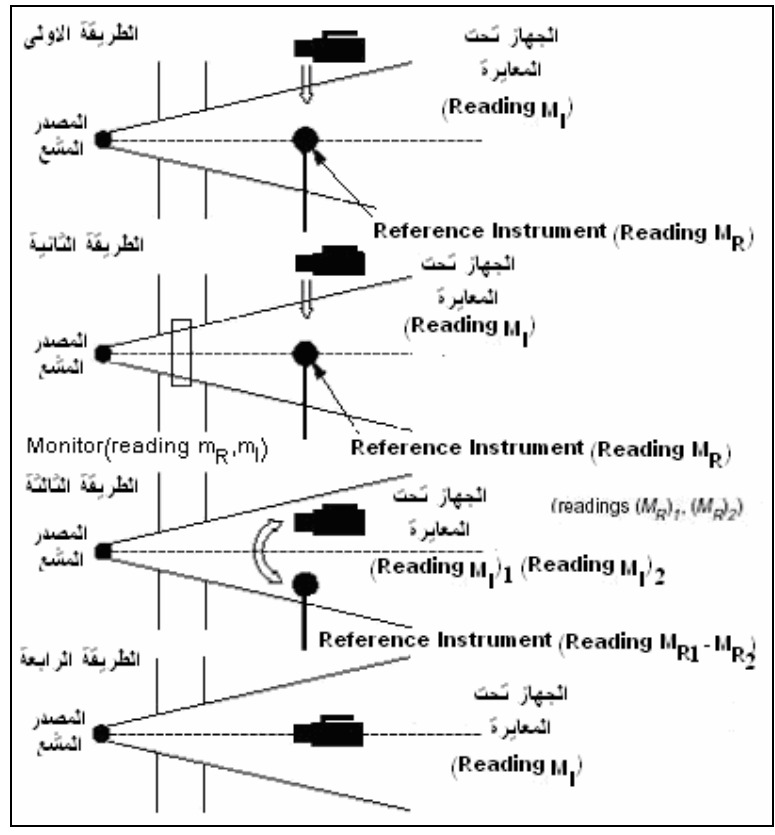
$$N_I = N_R \frac{hM_R}{M_I}$$

موقع الفريد في الفيزياء

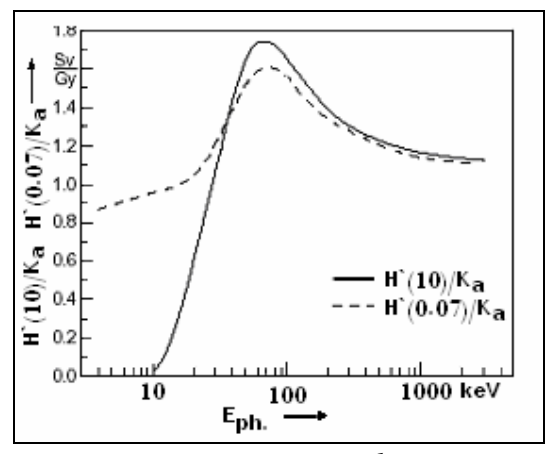
h

M_I

N_R



(2)



h

(3)

$M - Monitor$

H

N_M

$.m$

$$N_M = \frac{H}{m}$$

:

$$N_R = \frac{N_M m_R}{hM_R}$$

:

$$N_I = \frac{N_M m_I}{M_I}$$

:

$$N_I = N_R \left[\frac{hM_R}{m_R} \right] \times \left[\frac{m_I}{M_I} \right]$$

$m_I \quad m_R$

.

: $N_I \quad N_R$

.(uncollimated)

$$N_R = \left[\frac{H}{hM_R} \right]_1 ; N_I = \left[\frac{H}{M_I} \right]_2$$

:

$$N_R = \left[\frac{H}{hM_R} \right]_2 ; N_I = \left[\frac{H}{M_I} \right]_1$$

:

$H_2 \quad H_1$

$$\frac{N_I}{N_R} = \left[\frac{hM_R}{M_I} \right]_1 ; \frac{N_I}{N_R} = \left[\frac{hM_R}{M_I} \right]_2$$

:

$$N_I = N_R \sqrt{\left[\frac{hM_R}{M_I} \right]_1} \times \sqrt{\left[\frac{hM_R}{M_I} \right]_2}$$

:

$$N_I = \frac{H}{M_I}$$

overload

:

H^* (10)

(4)

			250keV		
4	1.33MeV	PMMA	1.5		0.662MeV
(ISO)			

k_{pr}

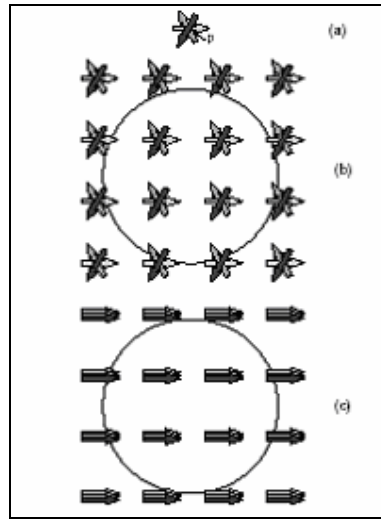
:

$$H = hN_R (\overline{M}_{RI} - \overline{M}_{R0}) k_{pr} k_T k_c k_s k_r$$

\overline{M}_{R0} \overline{M}_{RI}

.()

موقع الفريد في الفيزياء



P
c P
a b P
d (4) ICRU

%99

%10

(5-a)

(5-b)

(Collimator)

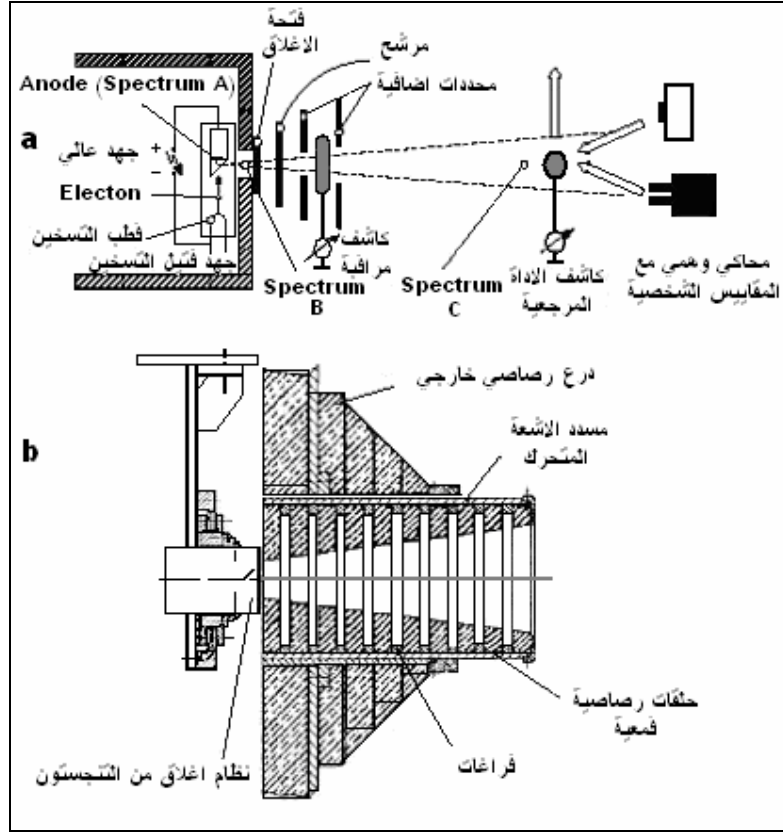
1000

12.5

137

6.5 60

موقع الفريد في الفيزياء



(b) (a):(5)

$$\dot{H}(0.07)$$

$$: \dot{D}_t(0.07)$$

$$\dot{H}(0.07) = \dot{D}_t(0.07)$$

B

$$\dot{D}_a(0.07)$$

:

$$\dot{H}(0.07) = \dot{D}_a \times T(0.07) \times B \times S_{t,a}$$

0.07

T(0.07)

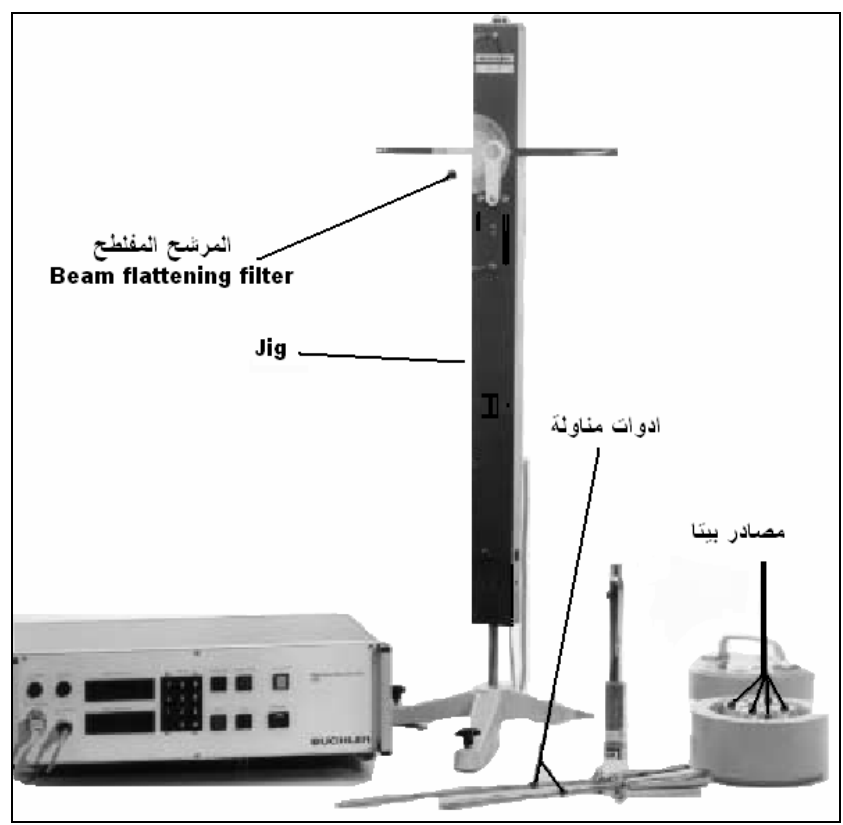
$S_{t,a}$

$$\text{TLD} \quad (3)$$

(6)

(3):

Radionuclide	Max. energy source encapsulation (keV)	(mg·cm ⁻²)	Calib.dis (cm)	S.to fil.dist. (cm)	Filter material and dimensions	$IF(0.07)/A$ (pSv·h ⁻¹ ·Bq ⁻¹)
¹⁴⁷ Pm	225	5 (silver)	20	10	One disc of polyethylene radius 5 cm-14 mg·cm ⁻² hole radius 0.975 cm	6
²⁰⁴ Tl	763	20 (silver)	30	10	Two concentric discs, one disc of polyethylene of 4 cm 7 mg·cm ⁻² , one disc 2.75 cm, 25 mg·cm ⁻²	68
⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y	2274	50 (silver) or 50 (silver) plus 80 (steel)	30	10	Three concentric discs of polyethylene each 25 mg·cm ⁻² , radii 2, 3 and 5 cm	65 40



(6):

10

φ

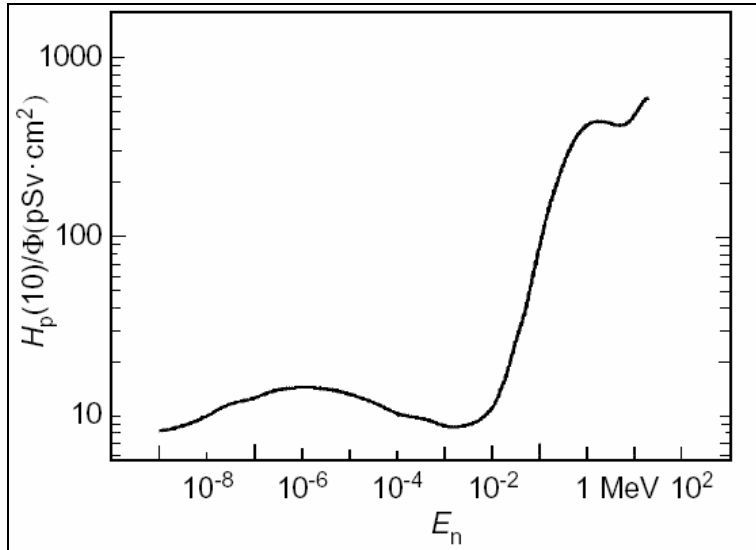
75

50

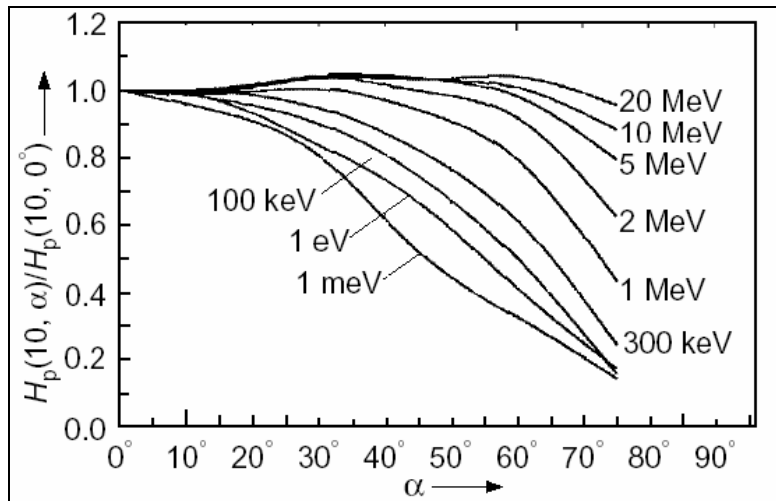
10

موقع الفريد في الفيزياء

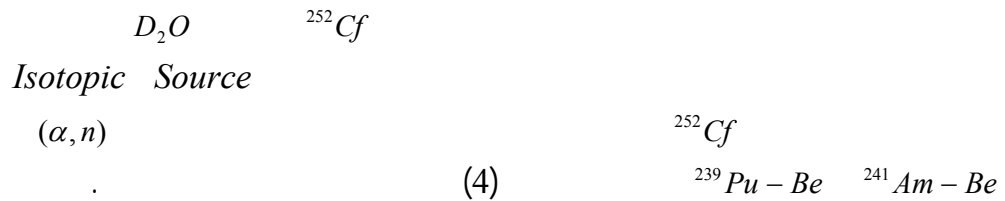
(8) $H_p(10)/\phi$ (7)



: (7)



: (8)



B_Ω : $d\Omega$ dB

موقع الفريد في الفيزياء

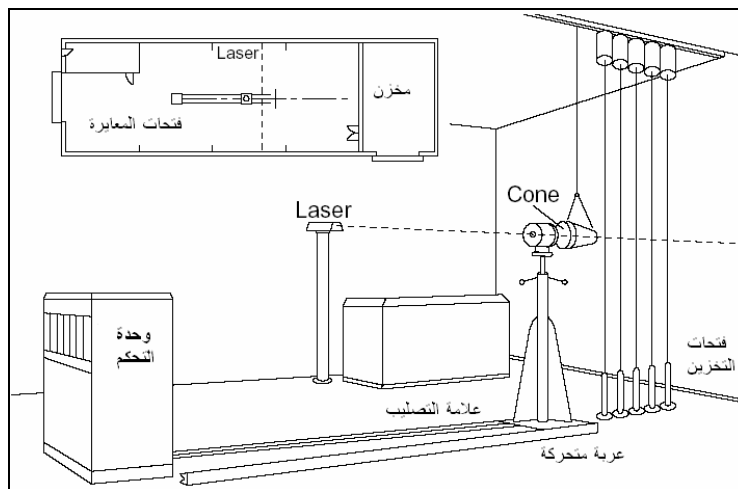
$$B_{\Omega} = \frac{dB}{d\Omega}$$

:(4)

Source ^a	Half-life (d)	Energy ^b (MeV)	Neutron yield (s ⁻¹ ·MBq ⁻¹)	Neutron dose equivalent rate constant (Sv·h ⁻¹ ·m ² ·MBq ⁻¹)	Photon dose equivalent rate constant (Sv·h ⁻¹ ·m ² ·MBq ⁻¹)
²⁵² Cf + D ₂ O	968	0.54	2 × 10 ¹² c,d	5.2 ^e	0.9 Moderator (diameter 30 cm)
²⁵² Cf	968	2.4	2.3 × 10 ¹² c	22 ^e	1.1
²⁴¹ Am-B (γ, n)	157, 788	2.8	16	1.8 × 10 ⁻¹⁰	7 × 10 ⁻¹⁰
²⁴¹ Am-Be (γ, n)	157, 788	4.4	66	7 × 10 ⁻¹⁰	7 × 10 ⁻¹⁰
Conversion coefficient					
Radionuclide source	$H^*(10)/\Phi$ (pSv·cm ⁻²)		Slab phantom $H_p(10)/\Phi$ (pSv·cm ⁻²)		
²⁵² Cf + 15 cm D ₂ O moderator	105		110		
²⁵² Cf	385		400		
²⁴¹ Am-B (γ,n)	408		426		
²⁴¹ Am-Be (γ,n)	391		411		

2

(9)



:(9)

% 85-70

:

250

[16] 250-0

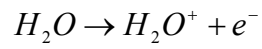
)

(Theory of Dual Radiation Action)

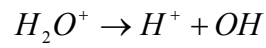
(
(DNA)

:

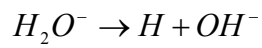
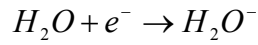
:



:



:

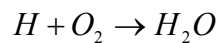
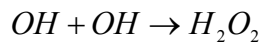


10^{-11}

10^{-14}

:

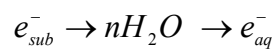
$10^{-11} - 10^{-6}$



sub - excitation

()

.(141)



OH

H

موقع الفريد في الفيزياء

O_2 H_2O_2
 x H
 D t
 $D = \frac{x^2}{6t}$
 10^{-12}
 2.9 1.1
 10^{-11}

Deterministic-Effects

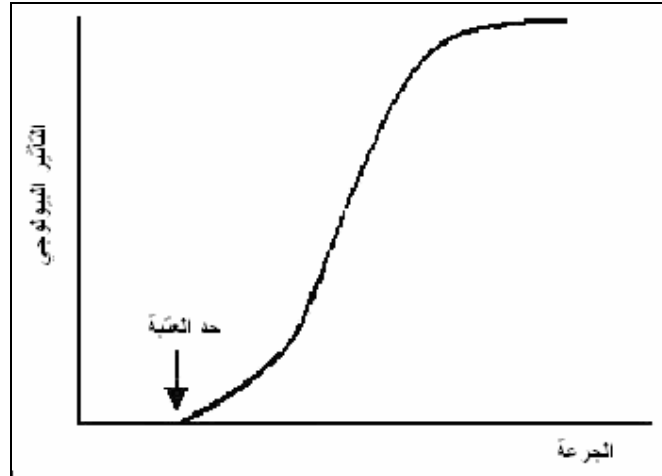
.stochastic

.(1)

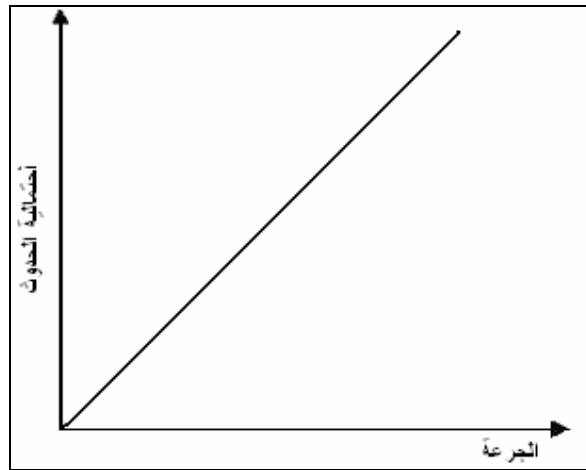
.(2)

:

موقع الفريد في الفيزياء



(1)



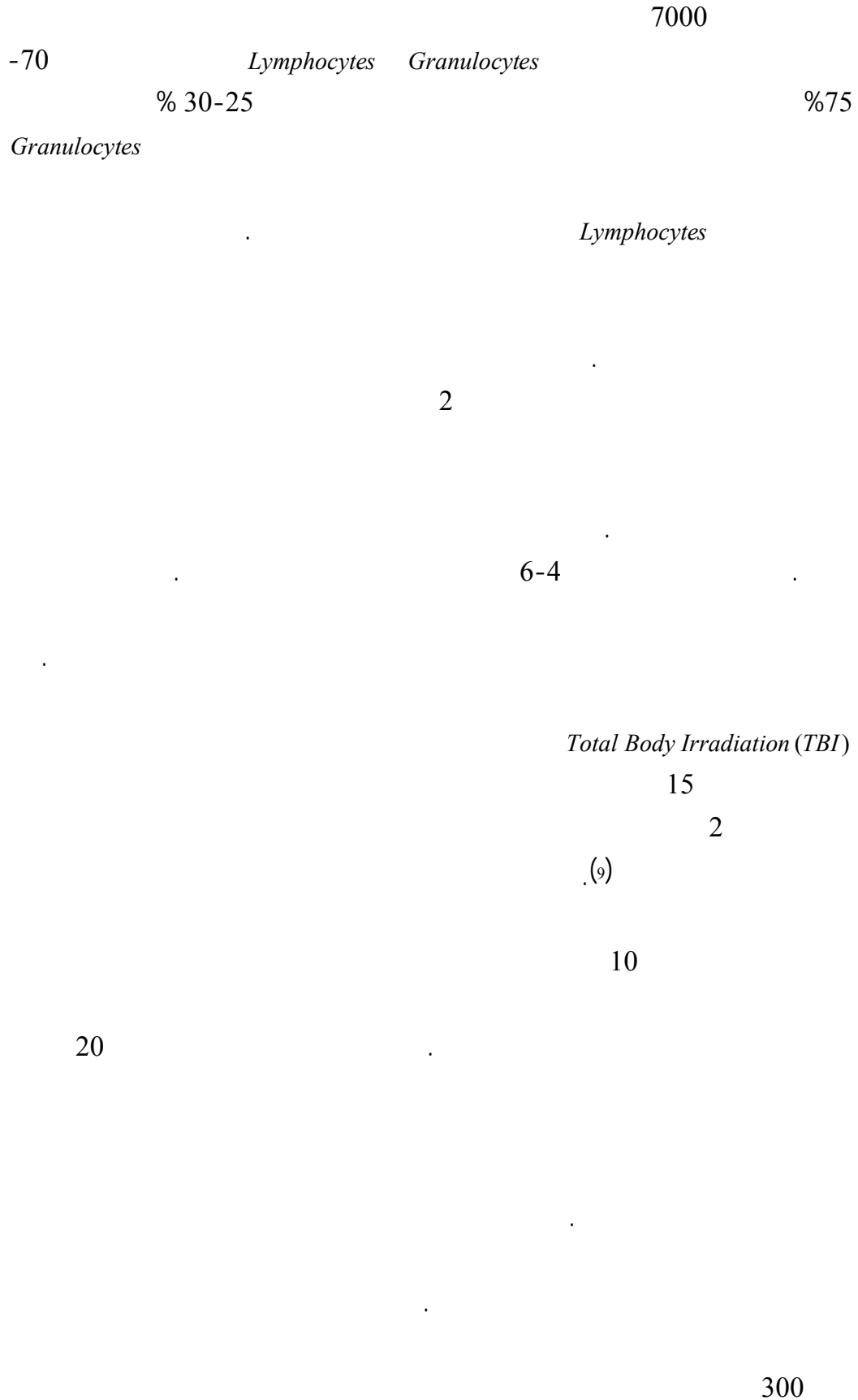
(2)

140

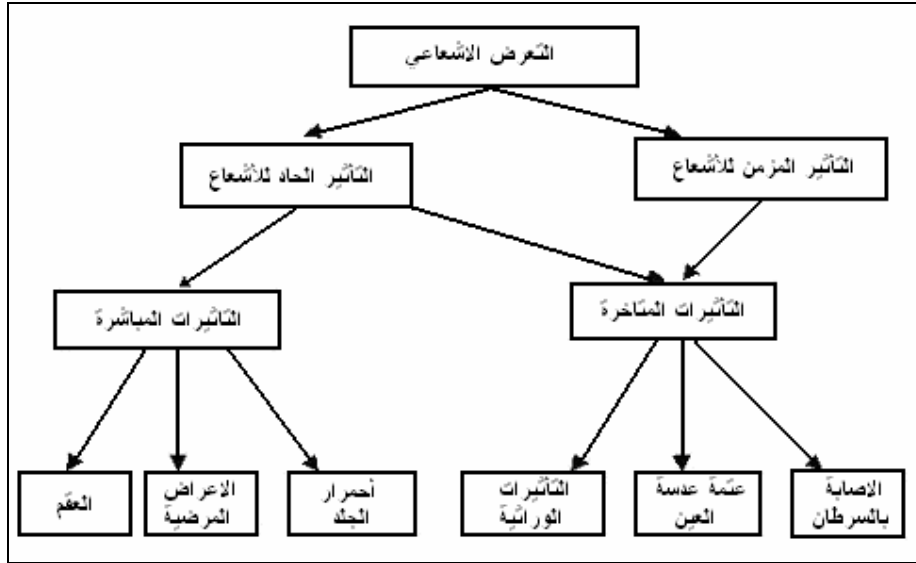
500-250

%55

موقع الفريد في الفيزياء



(3).



(3)

:

30-25

()

:

DNA

0.3

low-LET

[116]

1

$$\alpha D + \beta D^2$$

:

$$S = S_0 e^{-\frac{D}{D_0}}$$

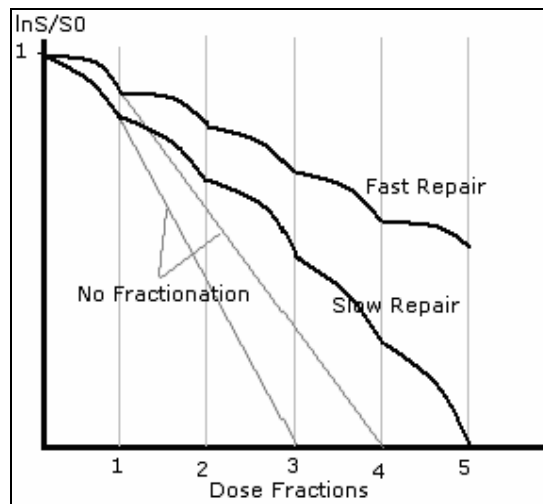
$$: D = D_0$$

$$\frac{S}{S_0} = e^{-1} = 0.37$$

. $D = 37 D_0$

(4)

Stereotactic



:(4)

10

[26]

. 1 % 6

1895



() ()

(1)
(Cathode)

(Filament)
(Anode)

(target)

موقع الفريد في الفيزياء

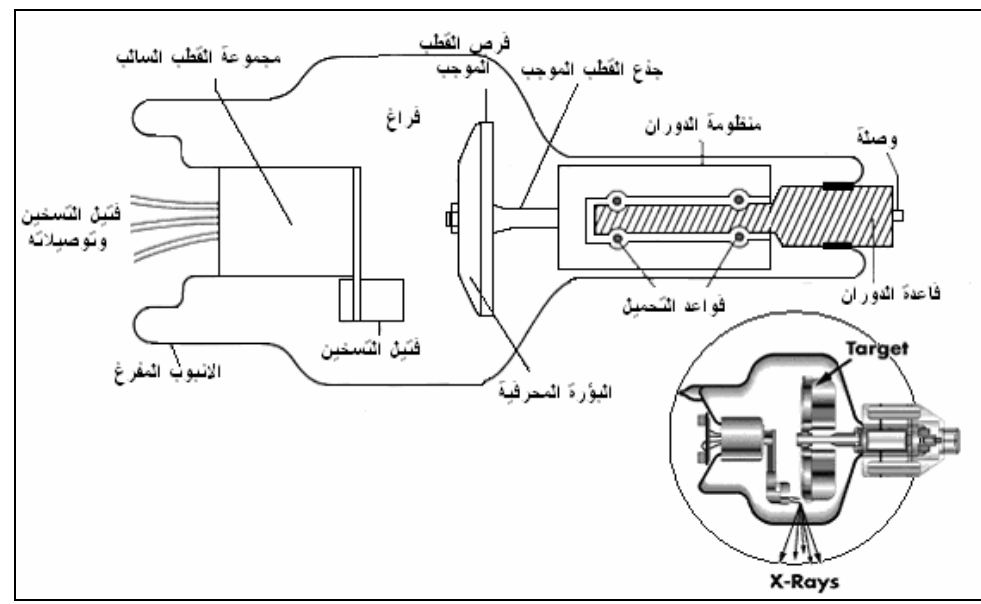
()

150-25 150000 – 25000

(Focal Spot) ()

(Peak)

((mAs) . ()



(1):

(Bremsstrahlung)

(Characteristic Radiation)

-0

100 % 15

% 1

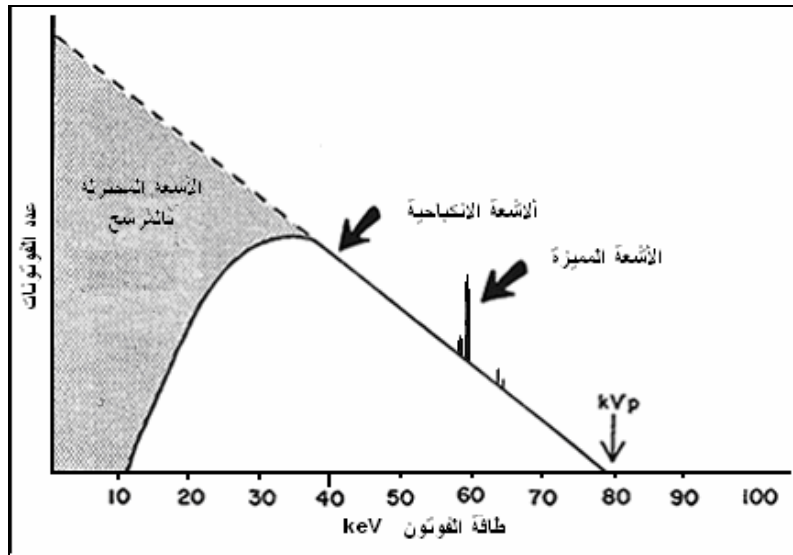
% 99

موقع الفريد في الفيزياء

(2)

:

(3)



:(2)

:(Grid)

(contrast)

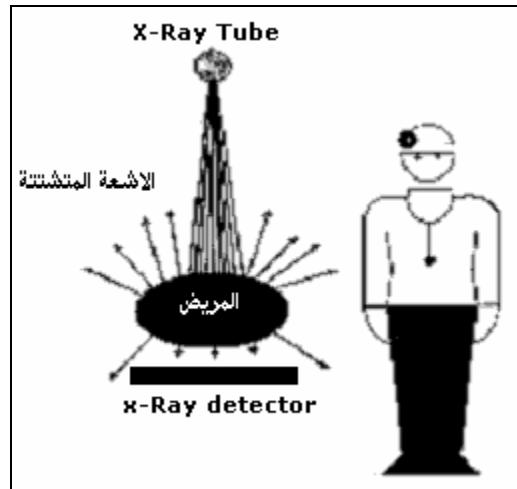
25

(4)

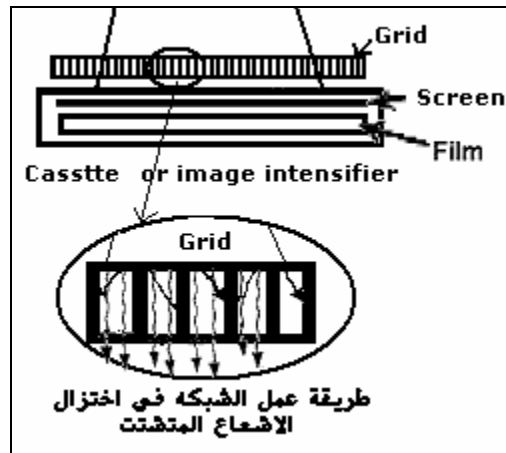
(air-gap)

(Anti-scatter Grid)

20-10



(3):



(4):

: (The Image Receptor)

(fluoroscopic images)

(intensifying screen)

5

[59]

()

(image intensifier)

(input phosphor)

(output phosphor)

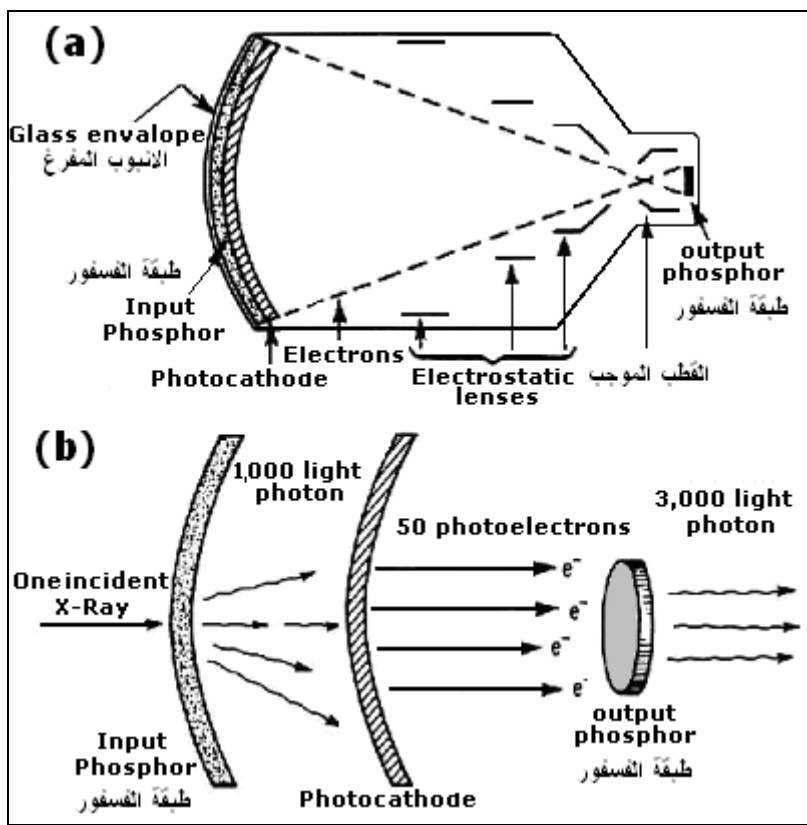
(5)

50

[59]

10

موقع الفريد في الفيزياء



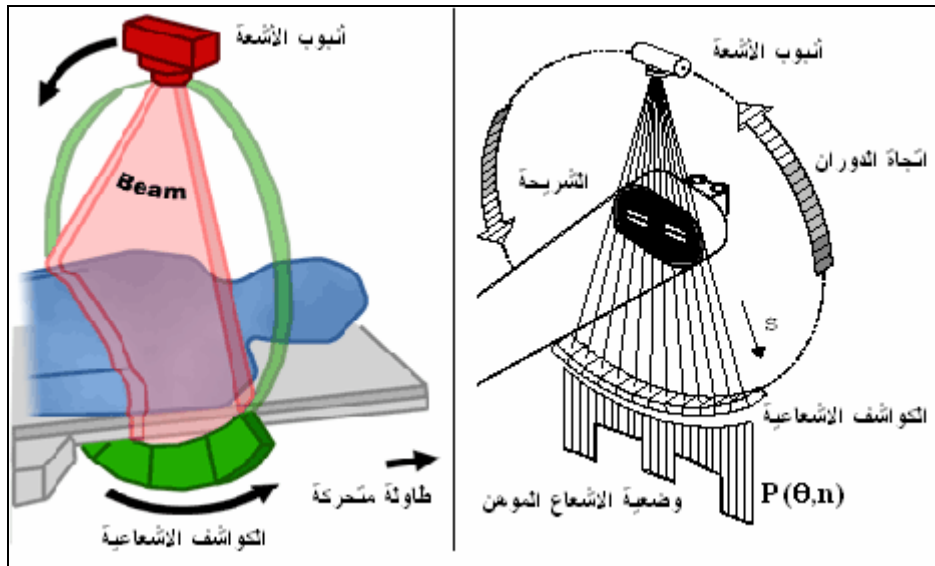
(b) (a) : (5)

: (CT)

.(6)

موقع الفريد في الفيزياء

2



:(6)

(Pencil-beam densitometers)

3

3.5

(Fan-beam)

0.5

:

: .1

(7)

3



1

.2 :

(lead vinyl)

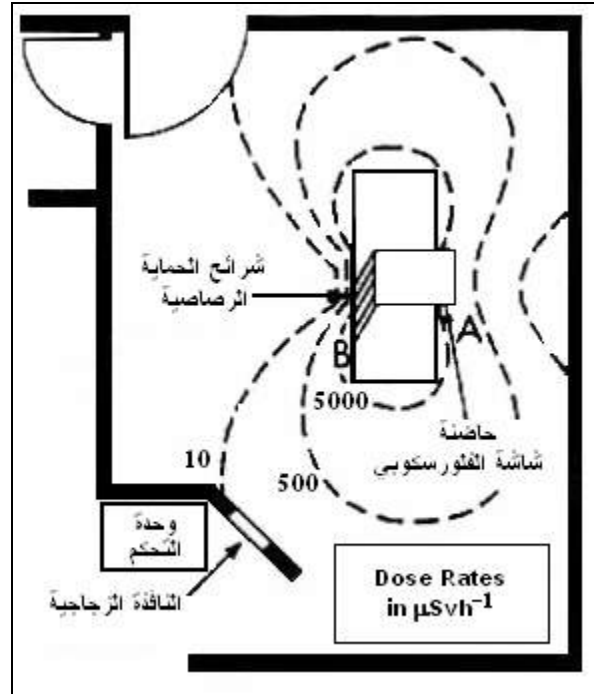
.ICRP-60

ICRP-60

21

150

()



:(7)

:

.3

(1)

.60 ICRP

:(1)

	Weekly Design Dose (μSv)
المناطق المقيدة (Controlled Areas)	100
المناطق غير المقيدة (Unclassified Areas)	20

:

(2)

()

ICRP

62

()

()

60

.ICRP

:

:

.1

.2

(lead vinyl)

.3

(dislocation congenital)

:(2)

X-Ray Examination	Absorbed Dose (mGy)					Effective dose (mSv)
	Active Bone marrow	Breasts	Uterus	Thyroid	Gonads (Ovaries, testes)	
Chest	0.04	0.09	*	0.02	*, *	0.04
CT Chest	5.9	21	0.06	2.3	0.08, *	7.8
Skull	0.2	*	*	0.4	*, *	0.1
CT head	2.7	0.03	*	1.9	*, *	1.8
Abdomen	0.4	0.03	2.9	*	2.2, 0.4	1.2
CT abdomen	5.6	0.7	8.0	0.05	8.0, 0.07	7.6
Thoracic spine	0.7	1.3	*	1.5	*, *	1.0
Lumber spine	1.4	0.07	3.5	*	4.3, 0.06	2.1
Pelvis	0.2	*	1.7	*	1.2, 4.6	1.1
CT Pelvis	5.6	0.03	26	*	23, 1.7	7.1
Intravenous Autography	1.9	3.9	3.6	0.4	3.6, 4.3	4.2
Barium enema	8.2	0.7	16	0.2	16, 3,4	8.7
Mammography	*	2	*	*	*	0.1

- *: Less than 0.01mGy;
- Source: National Survey of Doses to Patient Undergoing a Selection of Routine X-Ray Examinations in English Hospital (NRPB-R200, 1986; NRPB-R249,1991)

.5

.6

1

[146]

.7

.(magnification)

(distortion)

.8

(3)

á

5

.9

¹ In Australian recommendations the distance is 30 cm.

.10

.11

:(3)

X-Ray Tube Voltage (kVp)	Minimum HVL (mm Al)
50	1.5
60	1.8
70	2.1
80	2.3
90	2.5
100	2.7
110	3.0
120	3.2
130	3.5
140	3.8
150	4.1

(Quality assurance)

.12

.(4)

.13

:(4)

QA Test	Acceptance	Regular QA
X-ray tube focal spot	✓	Tube change
KVp accuracy and reproducibility	✓	Annually
Timer accuracy and reproducibility	✓	Annually
Linearity of radiation output	✓	Annually
Beam HVL	✓	Tube change
X-Ray beam/light beam coincidence	✓	Annually
Fluoroscopy patient dose rates	✓	Annually
Fluoroscopy resolution	✓	Annually

:

:		.1
		.2
		.3
	IAEA	
		:
(focal spot size)	(mAs) (KVp)	.1
	()	.2
	(Acrylic)	
(TLD)	(10–30 cc)	.3
		.4
.(1 R = 0.87 rad in air)	0.87	

(5)

.5

[59] IAEA

:(5)

Procedure	Skin Absorbed Dose/ Radiograph (mGy)
Lumbar spine (AP, Lat)	10, 30
Abdomen AP	10
Pelvis AP	10
Hip AP	10
Thoracic spine (AP, Lat)	7, 20
Dental Periapical, AP	7, 5
Chest (AP, Lat)	0.4, 1.5
Skull (AP, Lat)	5, 3
Head CT	50 (multiple scan average dose - MSAD)
Lumbar spine CT	35 (MSAD)
Abdominal CT	25 (MSAD)
Mammography no grid	1.0 *
(cranio-caudal) with grid	3.0
Fluoroscopy normal operation	25 mGy/min
High dose rate	100

* (mean glandular dose, 50:50 breast, 4.5 cm compressed thickness)

300

:

•

•

30

:

(automatic exposure)

.1

(image intensifier)

2

(mAs) (kVp)

30

.2

2

موقع الفريد في الفيزياء

100 150 50 100 50

1 2 100 2

2 1

2 3 2

- 200 cc 1 -500 cc

50 500 cc

A,B,C,D,E,F (8)

()

3

4

1

2

3

4

5

6

7

:

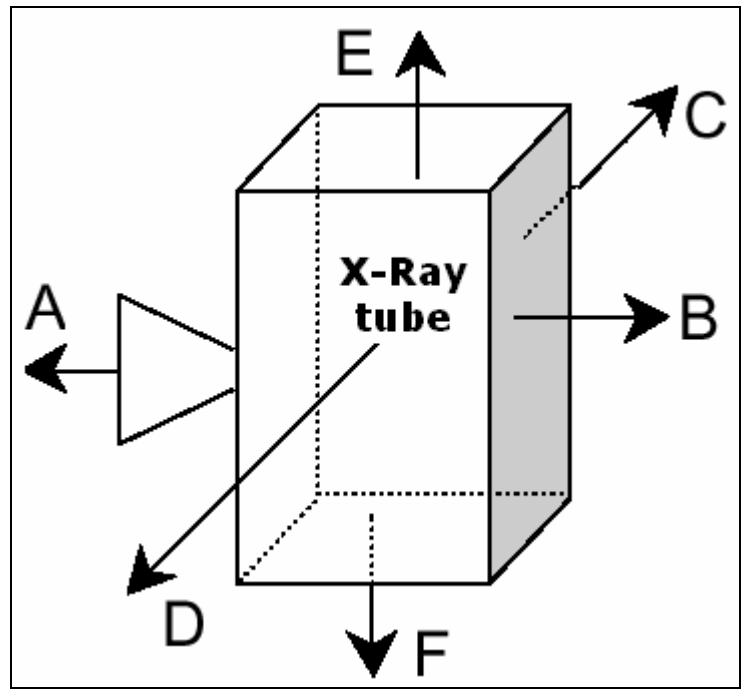
200

2 ()

500

50

1.5



:(8)

$$D_{1m} = 500 \mu Gy \times \frac{(0.5)^2}{(1)^2} = 125 \mu Gy$$

1.5

$$\frac{125}{1.5} \mu Gy \times 60 \times 60 = 300 m Gy$$

200

2

200

2

$$300 m Gy \times \frac{2}{200} = 3.0 m Gy$$

2

(

1)

:

•

TLD

1.5

:

:

(Unsealed)

(radiopharmaceuticals)

موقع الفريد في الفيزياء

(in vivo)

(in vitro)

(Gamma Camera)

(Radioimmunoassay)

: (Gamma camera imaging)

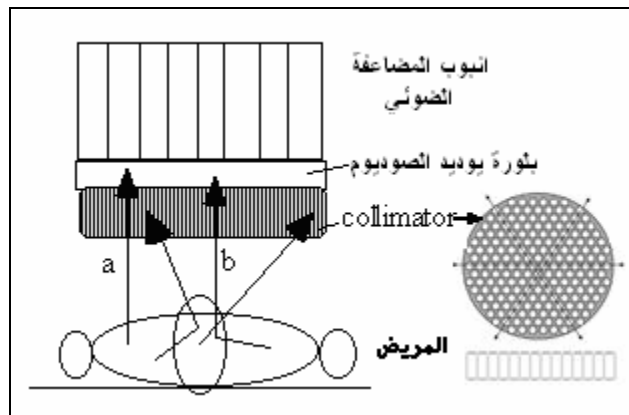
1

(NaI)

(collimator)

(photomultiplier)

(1)



:(1)

a, b

(1)

:

1

()

()

^{131}I ^{125}I ^{67}Ga

(monoclonal antibodies) (peptides)

^{123}I ^{99}Tc

511

300-100

1

موقع الفريد في الفيزياء

$(^{99m}\text{Tc}, ^{201}\text{Tl}, ^{131}\text{I}, ^{67}\text{Ga})$

(PET)

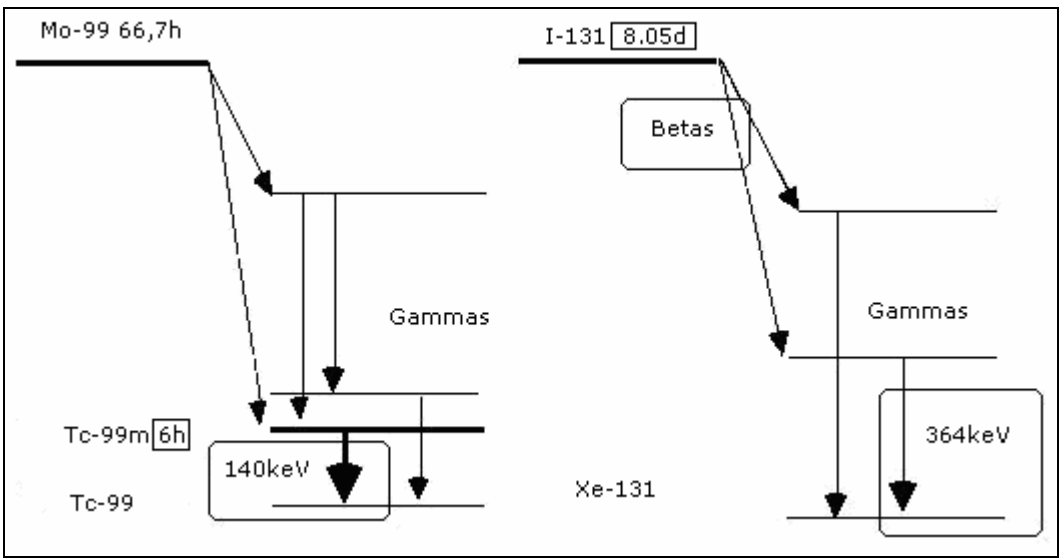
$(^{89}\text{Sr}, ^{111}\text{In}, ^{123}\text{I})$

% 90

% 90

(2)

^{131}I



^{131}I

:(2)

(intravenous injection)

66.7

^{99}Mo

()

(3)

(pertechnetate)

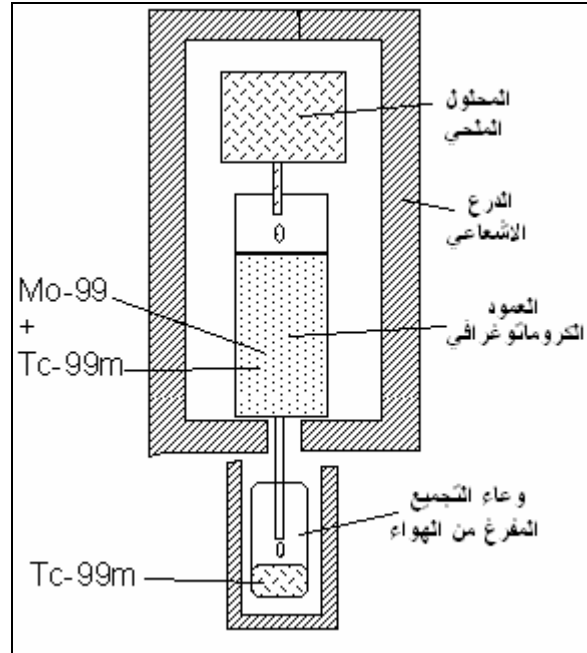
3

(sulphur colloid)

(DTPA, DMSA, MAG3)

(phosphates, phosphonates)

(HMPAO)



:(3)

(MBq/mL)

(dose calibrator)

. %10

.(Tc-99m DTPA)

:

(SPECT)

(Gated studies)

:

:

(Γ)

(1GBq)

(1)

20

(δ – KeV)

[36]

:(1)

Radionuclide	$\Gamma_{20} (\delta > 20 \text{ keV})$ $\mu\text{Gy/h at 1m from 1GBq}$	$D_{\text{Eff}, 10\text{mm soft tissue}}$ $(\mu\text{Sv/h at 1m from 1GBq})$
F-18	140	171
Co-57	13.0	19.1
Ga-67	18.9	26.7
Mo ⁹⁹ + Tc ^{99m}	34.8	45.0
Tc ^{99m}	14.2	21.3
In-111	74.5	87.5
I-131	52.6	66.2
Tl-201	10.2	17.1

(1)

200

^{131}I

5

A

D_E

D'

:

d

$$D' = A \times \frac{D_E}{d^2}$$

: 5

$$D' = 0.2GBq \times \frac{66.2\mu Sv}{(0.5)^2} \times \frac{5Min.}{60Min.} = 4.4\mu Sv$$

40

()

6ml

3ml

.(- -)

3-2

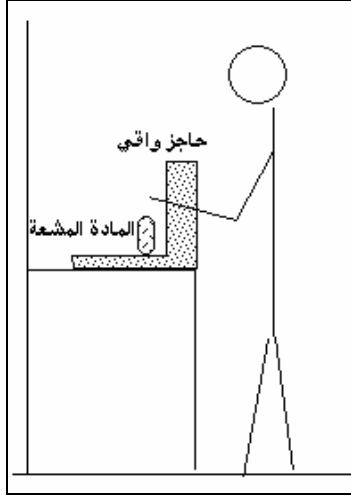
:

.1

.2

.3

.(4)



:(4)

10

(2))
(

:(2)

Energy	Radionuclides	TVL in Pb
< 100 keV	Tl-201, I-125, Xe-133, Gd-153	<0.7 mm
< 150 keV	Co-57, Tc-99m	0.9 mm
< 250 keV	In-111	2.5 mm
< 300 keV	Ga-67	5.3 mm
< 400 keV	I-131	11 mm
< 700 keV	F-18, Mo-99	20 mm

3

:

[22] (3)

[22]

:(3)

	Dose rate (mGy/h from 1 MBq/cm ²) at skin Depth of:		
	0.07 mm	0.4 mm	3 mm
P ³²	1726	990	90
Sr ⁸⁹	1667	887	55
Y ⁹⁰	1756	1049	200
Tc ^{99m}	207	-	-
I ¹³¹	1319	303	-
Tl ²⁰¹	208	-	-

:

:

(0.007)

10

10

100

:

0.01

10

$$A_{\text{Droplet}} = 0.01\text{ml} \times \frac{100,000\text{MBq}}{10\text{ml}} = 100\text{MBq}$$

207

(3)

: 100

$$207 \frac{\text{mGy}}{\text{MBq.h}} \times 100\text{MBq} = 20.700\text{Gy/h}$$

15-10

131

()

133- 81-

50

1.7

0.2

:

(fume hood)

.1

.2

.3

.4

.5

.6

.7

.8

.9

.10

5

(2mg / cm²) of mica

(14mg / cm²) of Al

2-1

67

123

125

201

10

4-1

2-1

15-10

10-5

20

()

100-10

:

1

()

(4)

(Ga-67) (Tl-201)
7-2

30

131

(ALARA)

:

•

•

•

800

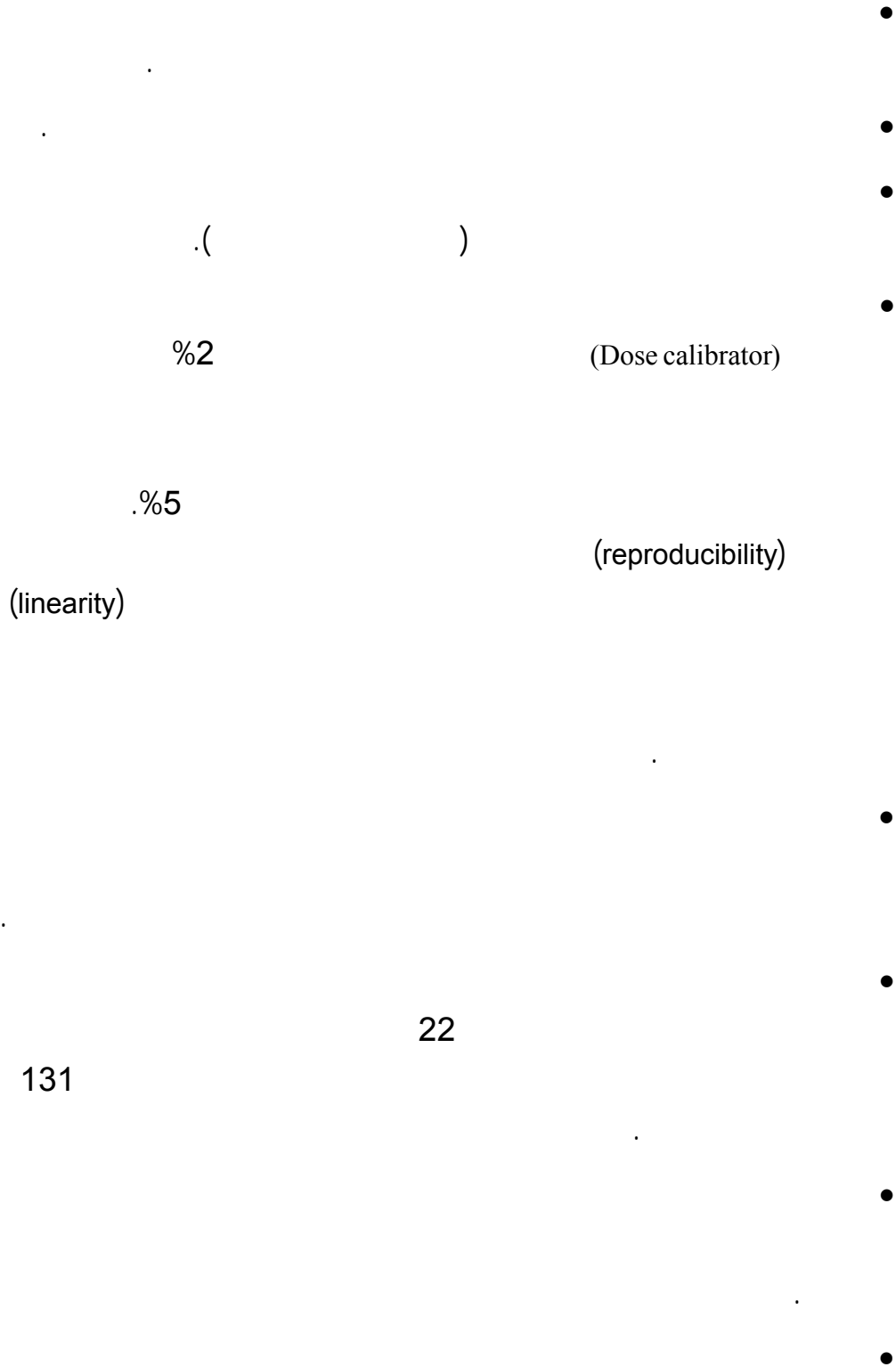
70

35

•

:(4)

Procedure	Nuclide	Radiopharmaceutical	Activity (MBq)	Effective dose (mSv)
bone scan	Tc ^{99m}	MDP/HDP	1000	5.8
brain	Tc ^{99m}	DTPA	800	4.2
brain	Tc ^{99m}	HMPAO	800	7.4
cardiac GHPS	Tc ^{99m}	RBC	1000	6.6
GIT blood loss	Tc ^{99m}	RBC	900	5.9
GIT gastric emptying	Tc ^{99m}	colloid or DTPA	40	0.8
GIT esophageal transit	Tc ^{99m}	colloid	40	0.8
GIT small bowel transit	Tc ^{99m}	colloid	40	0.8
hepatobiliary	Tc ^{99m}	HIDA	300	4.5
infection	Tc ^{99m}	WBC; colloid/HMPAO	800	8.8
infection W body or local	Ga-67	citrate	200 or 120	22 or 13
liver blood pool	Tc ^{99m}	RBC	1000	6.6
liver/spleen	Tc ^{99m}	large colloid	250	2.3
lung perfusion	Tc ^{99m}	MAA	200	2.0
lung ventilation	Tc ^{99m}	Technegas/DTPA	40	0.2
lymphoscintigraphy	Tc ^{99m}	nanocolloid	4 @ 20	< 1
Meckel's diverticulum	Tc ^{99m}	pertechnetate	400	4.8
myocardium hot spot	Tc ^{99m}	PYP	800	4.6
Myocd. P TI-201 exercise	Tl-201	chloride	120	28
" TI-201 reinjection	Tl-201	chloride	40	9.2
" TI-201 rest	Tl-201	chloride	100	23
MIBI stress/rest @1day	Tc ^{99m}	MIBI	400 + 1000	11
MIBI stress/rest @2days	Tc ^{99m}	MIBI	2 @ 750	12
parathyroid	Tc ^{99m}	MIBI	800	6.8
renal GFR	Tc ^{99m}	DTPA	100	0.5
renal scan	Tc ^{99m}	DTPA	600	3.1
renal scan	Tc ^{99m}	DMSA	180	1.6
renal scan	Tc ^{99m}	MAG3	400	2.9
renal transplant	Tc ^{99m}	DTPA	400	2.1
salivary glands	Tc ^{99m}	pertechnetate	200	2.4
somatostatin receptors	In-111	Octreotide	160	-
spleen	Tc ^{99m}	denatured red cells	200	3.8
thyroid scan	Tc ^{99m}	pertechnetate	200	2.4
thyroid Ca whole body	I-131	iodide	200	12
tumor	Tc ^{99m}	DMSA	400	3.5
tumor	Tl-201	chloride	200	46
tumor	Ga-67	citrate	370	41
tumor	I-131	MIBG	50	7.0
tumor	Tc ^{99m}	MIBI	550	4.7
venogram	Tc ^{99m}	pertechnetate	740	8.9



(5)

: (5)

	Radiopharmaceutical	Period of suspension
Group 1	All I-131 and I-125 compounds except hippurate Na-22, Ga-67, Tl-201, Se-75	at least 3 weeks
Group 2	Hippurate labeled with I-131, I-123 or I-125 Tc-99m except RBC, DTPA and phosphonates	at least 12 hours
Group 3	Tc-99m red blood cells, DTPA, phosphonates	at least 4 hours
Group 4	Cr-51 EDTA	0

:

(1) (20)
(5)

1100-400 131
(SSR- No. RS-G-1.5)

(Sr-89) (Y-90)

8-4 4-2

()

:

•
•

2

2

15

3-2

-
-
-
-
-

:

:

() 30 ()

.1

.2

.3

.4

.5

.6

.7

.8

.9

.10

.11

.12

(radiotoxicities)

²

(6)

[144]

(6)

	Radiotoxicity			
	Class I	Class II	Class III	Class IV
Low Level	<0.2 MBq	<20 MBq	<2 GBq	<0.2 TBq
Medium Level	0.2-20 MBq	20 MBq-2 GBq	2 GBq-0.2 TBq	0.2-20 TBq
High Level	>20 MBq	>2 GBq	>0.2 TBq	>20 TBq

:

:

.1

.2

.3

.4

(4)

.5

.6

² Radiation Safety Manual, The University of Newcastle, Australia

.7

.8

:

:

.1

.2

.3

.4

.5

.6

:

10-8

Radionuclides in medicine - unsealed sources

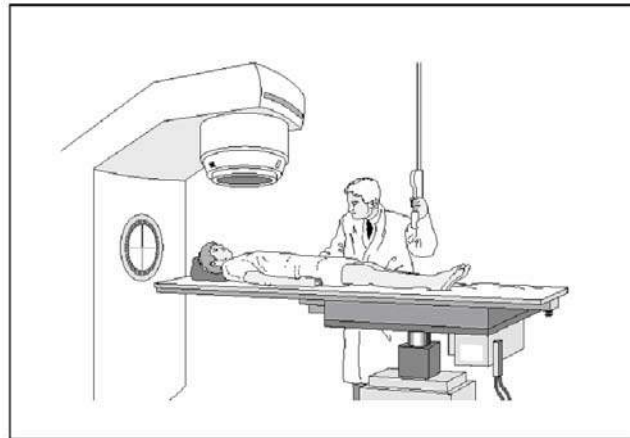
Nuclide	Class 1-4	Half-life	Decay mode	Principal betas, $E_{\beta, \max}$. MeV (%)	Principal photons, $E_{\gamma, x\text{-ray}}$. MeV (%)
3H	4	12.26 y	β^-	0.0186 (100)	
11C	4	20.38 m	β^+	0.98 (100)	0.511 (200)
13N	4	9.97 m	β^+	1.19 (100)	0.511 (200)
14C	3	5760 y	β^-	0.156 (100)	
15O	4	2.04 m	β^+	1.7 (100)	0.511 (200)
18F	3	109.7 m	EC; β^+	0.633 (94)	0.511 (194)
22Na	2	2.6 y	EC; β^+	0.546 (91)	0.511 (181), 1.27 (100)
24Na	3	15 h	β^-	1.39 (100)	1.37 (100), 2.76 (100)
32P	3	14.3 d	β^-	1.709 (100)	
33P	3	25.3 d	β^-	0.249 (100)	
35S	3	87.4 d	β^-	0.167 (100)	
42K	3	12.4 h	β^-	2.0 (18), 3.52 (82)	1.52 (18)
45Ca	2	163 d	β^-	0.257 (100)	
51Cr	3	27.7 d	EC		0.320 (10)
57Co	3	271 d	EC		0.122 (86), 136 (11)
58Co	3	71.3 d	EC; β^+	0.474 (15)	0.81 (100), 0.511 (31)
59Fe	3	44.5 d	β^-	0.273 (46), 0.466 (53)	1.10 (56), 1.29 (44)
64Cu	3	12.8 h	EC; β^+ ; β^-	0.57 (40), 0.66 (19)	0.511 (38)
67Cu	3	61.7 h	β^-	0.39 (56), 0.48 (23), 0.58 (20)	0.09 (17), 0.18 (47)
67Ga	3	78.3 h	EC		0.09 (41), 0.185 (24), 0.300 (17)
68Ga	4	68.3 m	EC ; β^+	1.9 (88)	0.511 (178), 1.08 (3)
75Se		119.8 d	EC		0.121 (17), 0.136 (59), 0.265 (59) 0.280 (25), 0.401 (12), ~ 0.01 (56)
89Sr	2	50.5 d	β^-	1.463 (100)	
90Y	3	64 h	β^-	2.274 (100)	
99mTc	4	6.01 h	IT		0.141 (89)
111In	3	2.83 d	EC		0.171 (91), 0.245 (94), ~ 0.02(84)
123I	3	13.2 h	EC		0.159 (84), 0.53 (2), ~ 0.03 (87)
125I	2	60.1 d	EC		0.035 (7), ~ 0.03 (140)
131I	2	8.04 d	β^-	0.606 (90)	0.364 (82), 0.637 (7)
133Xe	4	5.33 d	β^-	0.34 (99)	0.08 (36)
153Sm	3	46.7 h	β^-	0.64 (35), 0.707 (44), 0.81 (21)	0.103 (28)
165Dy	3	2.35 h	β^-	1.22 (16), 1.31 (80)	0.095 (3)
198Au	3	2.70 d	β^-	0.961 (99)	0.412 (96)
201Tl	3	73.1 h	EC		0.167 (10), ~ 0.075 (95)

Radionuclides in medicine - sealed sources and generators

Nuclide	Class 1-4	Half life	Decay mode	Principal alphas/betas, $E_{\beta,\alpha,\max.}$ MeV (%)	Principal photons, $E_{\gamma,x\text{-ray}}$ MeV (%)
68Ge	3	287 d	EC		[and 68Ga daughter]
68Ga	4	68.3 m	EC ; β^+	1.9 (88)	0.511 (178), 1.08 (3)
57Co	3	271 d	EC		0.122 (86), 136 (11)
60Co	2	5.26 y	β^-	0.313 (100)	1.17 (100), 1.33 (100)
90Sr	2	28.1 y	β^-	0.546 (100)	[and 90Y daughter]
90Y	3	64 h	β^-	2.274 (100)	
99Mo	3	66 h	β^-	0.454 (18), 1.232 (80)	0.74 (14), 0.181 (7) [and daughter 99mTc]
99mTc	4	6.01 h	IT		0.141 (89)
113Sn	3	115 d	EC		[and daughter 113mIn]
113mIn	4	1.658 h	IT		0.39 (65), ~ 0.024 (24)
132Te	3	76.3 h	β^-	0.215 (100)	0.228 (88) [and daughter 132I]
132I	3	2.30 h	β^-	multiple, av 0.484(100)	0.67 (99), 0.77 (76) and others
137Cs	2	30 y	β^-	0.51 (94), 1.173 (6)	[and 137mBa daughter]
137mBa	2	2.55 m	IT		0.66 (90), ~ 0.033 (7)
153Gd	3	242 d	EC		0.97 (30), 0.10 (20), ?0.04(120)
192Ir	2	74 d	EC; β^-	0.54 (42), 0.67 (47)	0.30 (26), 0.31 (29), 0.32 (83), 0.47 (47), ~ 0.064 (10)
222Rn	3	3.824 d	α	α 5.49 (100) [and daughters, incl. Class 1 a emitters]	
226Ra	1	1600 y	α	α 4.60 (6), 4.78 (94) [and daughters]	0.186 (3) [0.8 mean Eeff incl.daughters, 0.3mm Pt- Ir encapsulation]
241Am	1	433 y	α	α 5.46 (100)	0.06 (36), ~ 0.017 (38)

Radiotoxicity Class from Schedule 1 of the NSW Radiation Control Regulation (1993).

Nuclear data extracted from NCRP Report No 58, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures (1985).



موقع الفريد في الفيزياء

(External – Beam – Radiotherapy)

(Brachytherapy)

25 – 4

(Magnetron or Klystron)

((1))

(Target)

(Bending Magnet)

(Scattering Foil)

(Flattening Filter)

(2)

(40cm × 40cm)

(Collimators)

2

1951

((3))

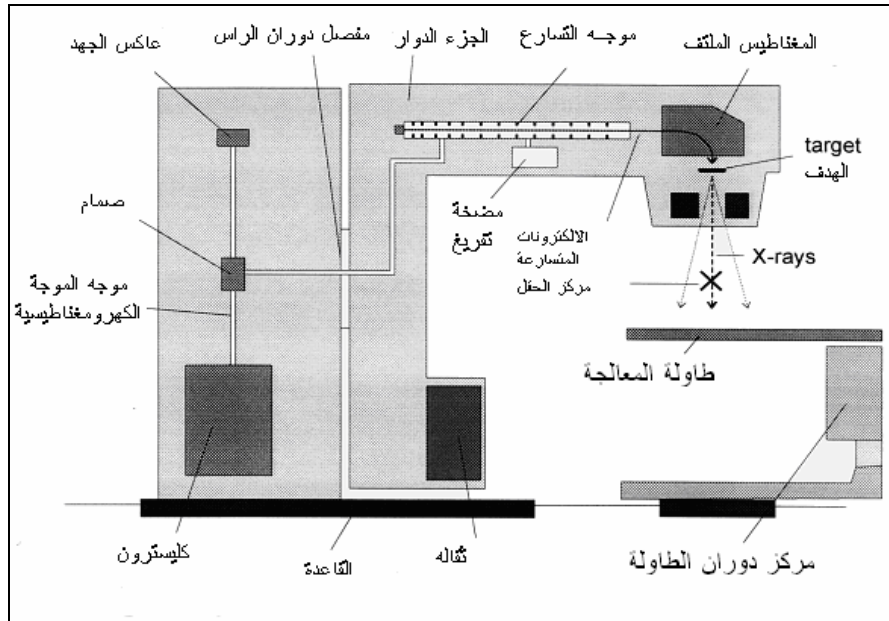
2

5

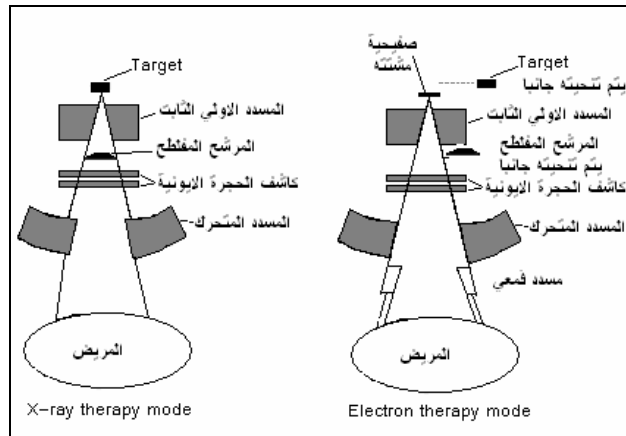
0.5

1.2
25

10 %55



(1)



(2)

(Stereotactic Radiotherapy)

()

(4)

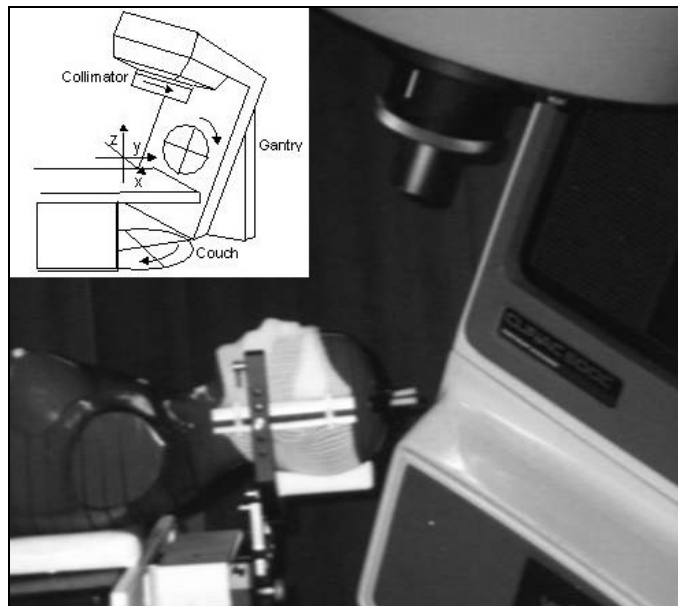
()

201

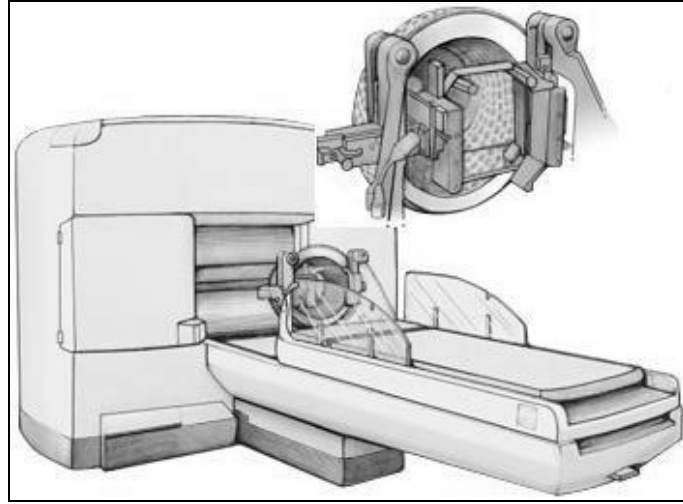
(5)



:(3)



:(4)



(5):

(Brachytherapy)

(Interstitial – implant)

(Intracavitary – Therapy)

(^{226}Ra)

1940

(^{103}Pd , ^{125}I , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{90}Sr)

(milligram - radium equivalent (mg - Ra eq))

(NCRP)

()

(HDR)

(LDR)

موقع الفريد في الفيزياء

((6)) (HDR)

10-5

15-5

1

/ 469-235

(LDR)

200-50

(^{103}Pd , ^{125}I , ^{137}Cs , ^{192}Ir)

(Applicator)

(7)



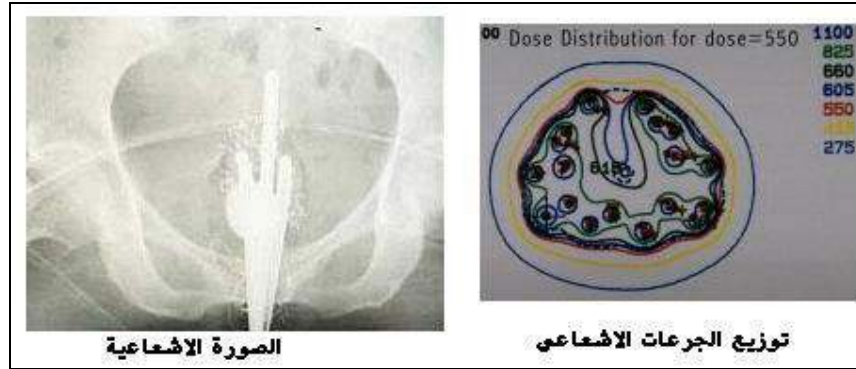
:(6)

:

(Radiotherapy – Simulators)

($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)

موقع الفريد في الفيزياء



() () (7):

:

:

- 1.
- 2.
- 3.

(1):

ICRP

(1):

20	100
150	
500	
500	

موقع الفريد في الفيزياء

(1)

(Controlled – Areas)

(Supervised – Areas)

.1

.2

•

•

•

•

•

•

:

: [74]

.1

.2

.3

.4

.5

.6

.7

() (%2

.8

.9

.10

.11

.12

.13

.14

.15

()

.16

.17

20

5

200

()

.18

%0.1

1

10

.19

100

10

1

5

:

:

()

.1

.2

(8)

.1

.2

.3

.4

.5

(Double exposure portal filming)

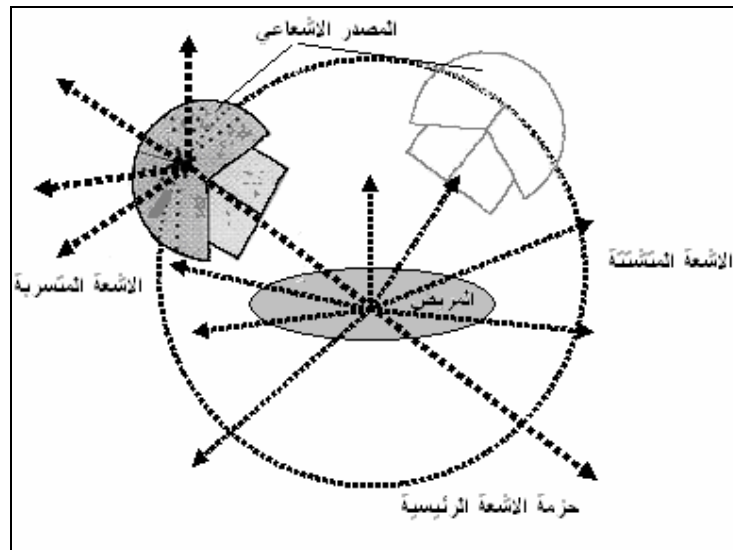
.6

.7

(Tertiary collimator)

.8

. (Multileaf collimator)



:(8)

-
-
-
-

%10

[1]

((^{137}Cs , $E_\gamma = 661\text{keV}$))

(TLD)

10

(Borated Polyethylene)
((maze))
()

[2] 20-10 (Quality Factor)

:

()

(ATP)

[1]

.1

.2

(Symmetry)

(Isocenter)

(Gantry)

.(9)



:(9)

.3

(Anti – Collision)

(Beam – Modifier – Systems)

.4

.(Backup)

.5

(Monitor Unit-MU)

(cGy)

،(MU)

(Penumbra)

(Isodose Curves)

(Interlock Systems)

.6

: [1](commissioning¹)

،(RTP)

4-2

،(Energy Independence)

،(Spatial resolution)

،(AFS)

[51] (TRS – 398)

[1]1983 21

،(cGy)

(AAPM)

[52] (TRS – 277)

،[2]1999 51

¹ “Commissioning” refers to the process whereby the needed machine-specific beam data are acquired and operational procedures are defined [1].

موقع الفريد في الفيزياء

،(SSD)

،(MU)

.(SDD)

،(SSD)

(PDD)

.(TMR)

،(TPR)

،(TAR)

(MU)

،(TPR) ،(TAR) ،(PDD)

[32,111]

(Output Factor)

،(SSD) (PDD)

،(Off-axis)

.(4,5,6,8,10,12,15,20)cm

10)

،(45⁰,60⁰)

.[1]

5

(TRS – 398)

. [51] 2001

: (Brachtherapy)

)

(

()

(LDR)

موقع الفريد في الفيزياء

(HDR)

(2)

125

1

3

198^2

(10)

[61,74]

:(2)

Radionuclide	Typical applications	Max. activity at discharge (MBq)
^{32}P	Systemic injection	1200
^{90}Y	Local injection	1200
^{125}I	Seed permanent implant	No limit
^{131}I	Systemic injection	600
^{198}Au	Seed permanent implant	2000
^{89}Sr	Systemic injection	300



:(10)

0.028)

(60)

125 ²

2.7)

(

0.412)

(

(

(11)

(12)



:(11)

()

موقع الفريد في الفيزياء

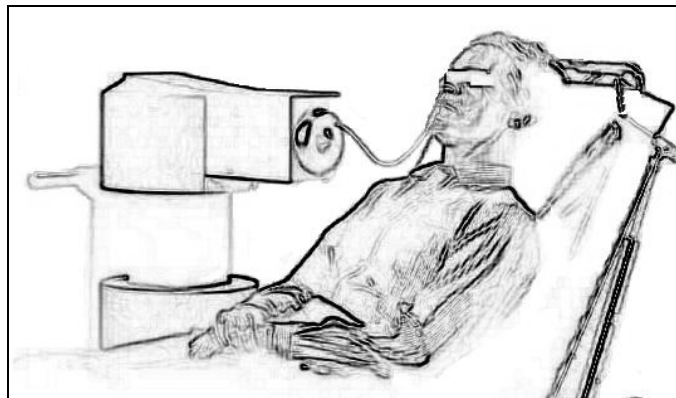
(autoradiograph)



()

:(12)

(13)



:(13)

	.9
	.10
	.11
	.12
	.13
	.14
	.15
	.16
5.3) 200	.17
	[74] (
	.18
	180
	.19
	.20
	($^{90}\text{Sr}, ^{90}\text{Y}$)
	(Bremsstrahlung Radiation)
	.21
	.22
	.23
	.24

.25

.26

:

. (Nondestructive – Radiography)

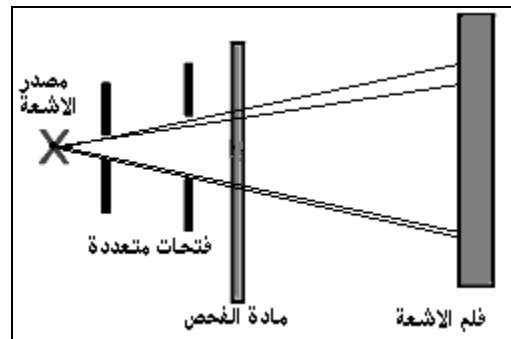


(^{60}Co)

(^{137}Cs)

(^{192}Ir)

.(1)



:(1)

2

100-30

(2)

450-120

200-20

150

50

500

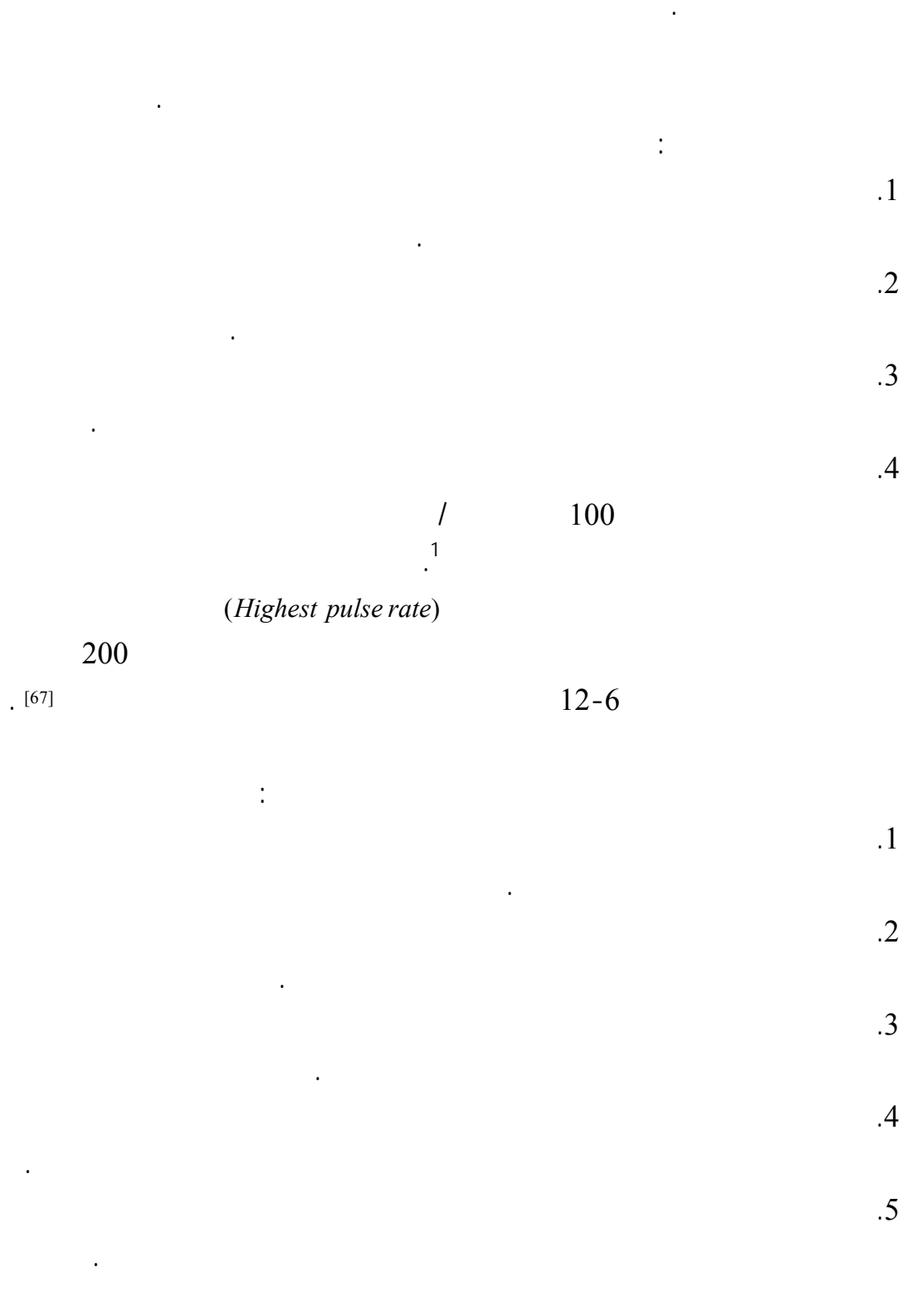
[67, 127]

1



()

:(2)



¹ Code of practice for industrial radiography x-ray radiography. *The State Library in Pretoria, the SA Library in Cape Town, 2002.*

	.6
	.7
	.8
:	.1
	.2
$(2.5\mu Sv/h - 2mSv/h)$	.3
	$(100mSv/h)$
	.4
<i>TLD</i>	.5



(3):

.(Commissioning)

18

:

(¹³⁷Cs)

(¹⁹²Ir)

(1)

(⁶⁰Co)

:(1)

Radionuclide	Gamma energies (MeV)	Half-life	Optimum steel thickness of object material (mm)
Cobalt-60	High (1.17 and 1.33)	5.3 years	50–150
Caesium-137	High (0.662)	30 years	50–100
Iridium-192	Medium (0.2–1.4)	74 days	10–70
Selenium-75	Medium (0.12–0.97)	120 days	4–28
Ytterbium-169	Low (0.008–0.31)	32 days	2.5–15

)

(

(*P – portable*)

(*M – mobile*)

50

(*F – Fixed*)

()

.(4)

(5)

(2)

[67]

:(2)

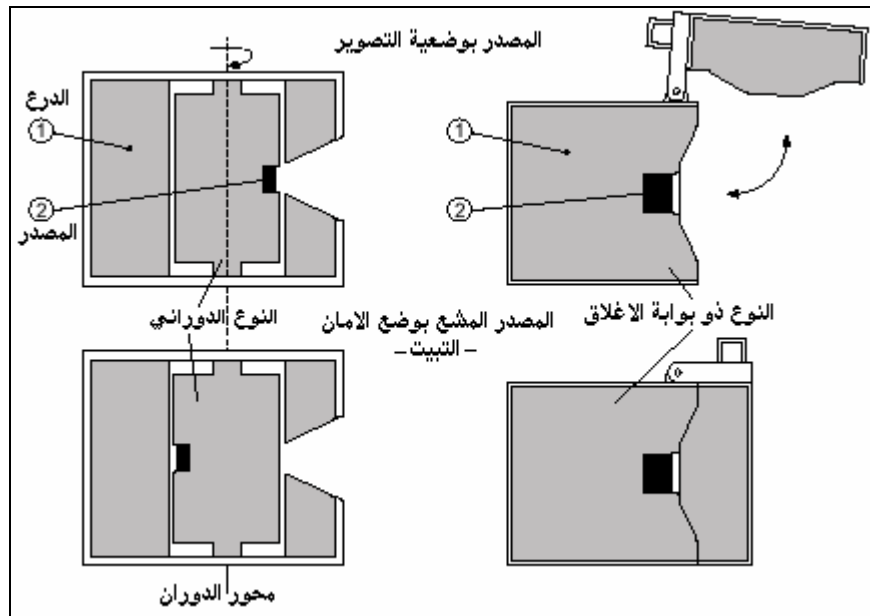
Class	Maximum dose equivalent rate ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, (mrem·h ⁻¹)) on external surface of container		
	At surface	At 50 mm	At 1 m
P	2000, (200)	500, (50)	20, (2)
M	2000, (200)	1000, (100)	50, (5)
F	2000, (200)	1000, (100)	100, (10)

B

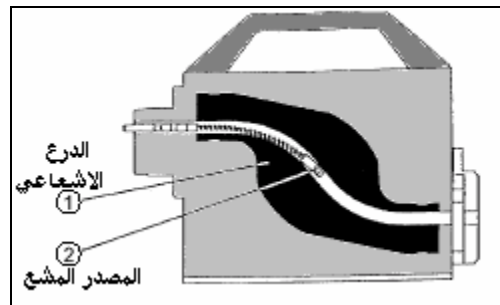
[70]

()

()



(4):



(5):

1

[108] (ISO – 3999)

(DU – Depleted Uranium)

(6)

300

[6, 15]

[67]

/

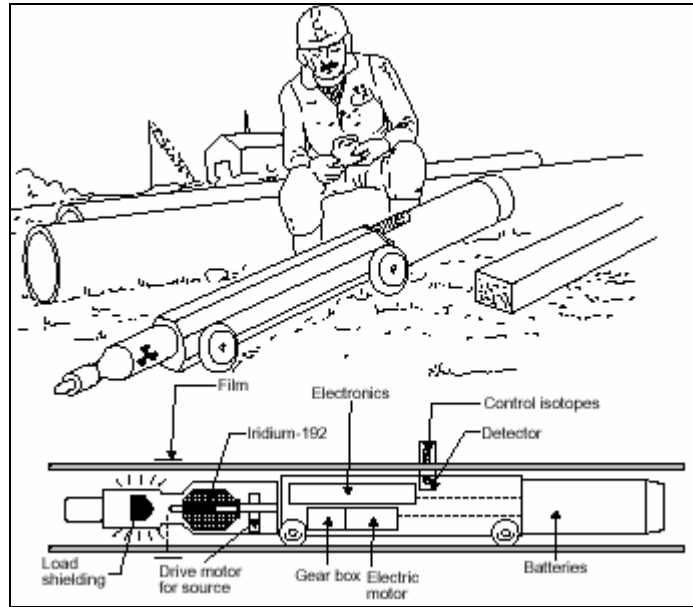
100



:(6)

(Cyclotron)

(7)

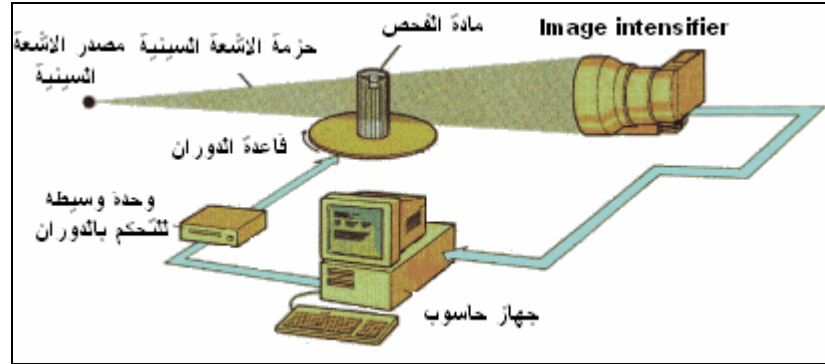


:(7)

(real time radiography)

(8)

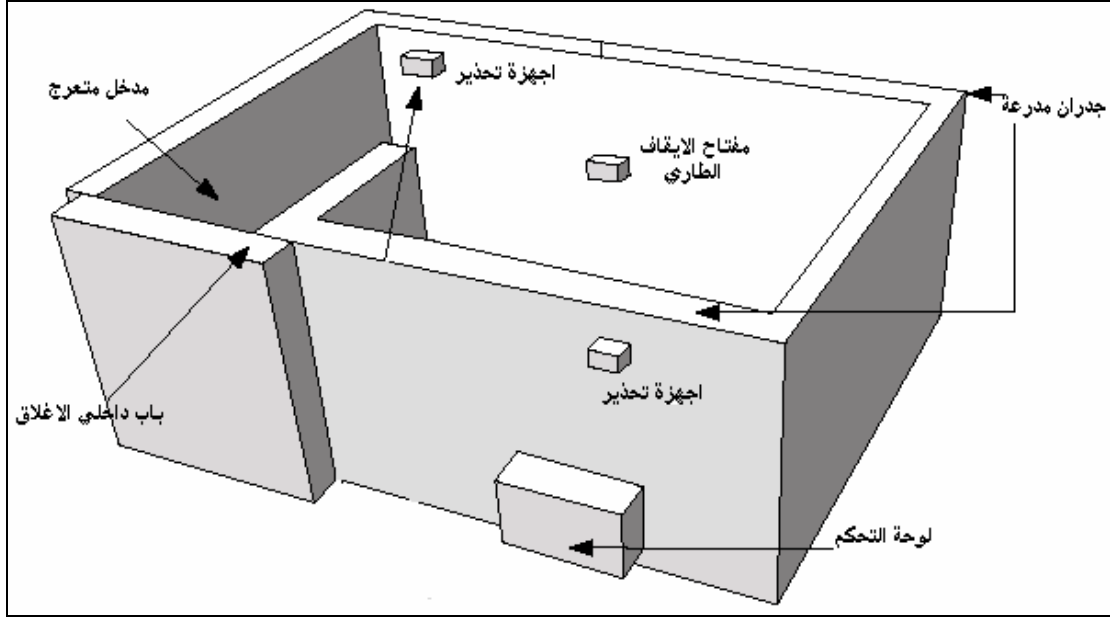
موقع الفريد في الفيزياء



(8):

(9).

موقع الفريد في الفيزياء



(9):

:

(10).

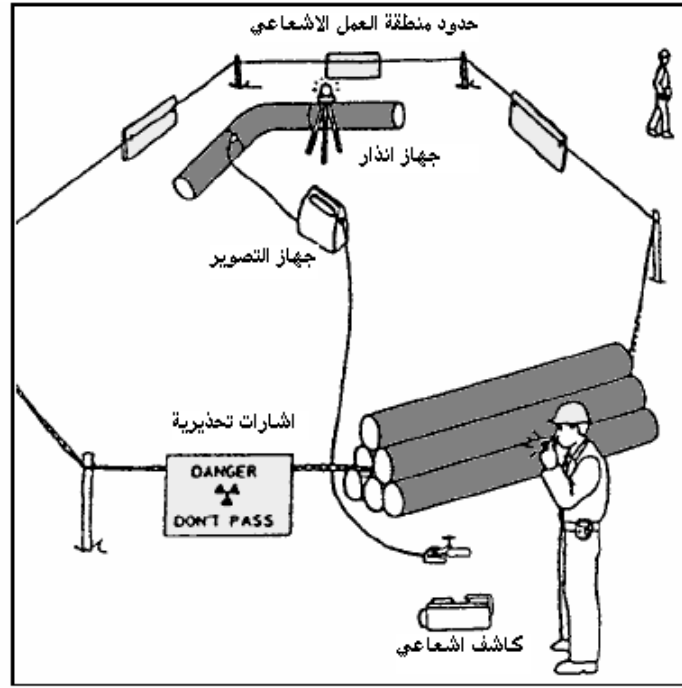
/ 20-7.5

(collimator)

/ 50

()

موقع الفريد في الفيزياء



(10):

50

()

:

/ 2.5
()

[70]

80 *B* *A* 10 9

[50]

:

- .1
- .2
- .3
- .4

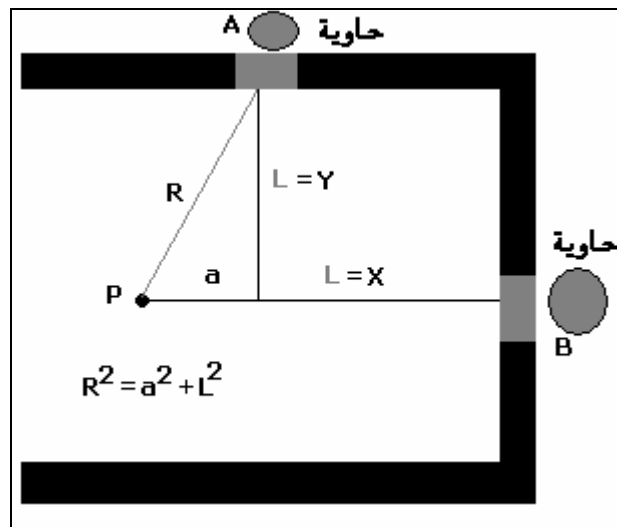
(Check Source)

1.5

()

P () :
 A (11) 7 B

/ 2



:(11)

AP A

موقع الفريد في الفيزياء

$$\frac{dD(y)}{dt} = \dot{D}(y) = E_\gamma \frac{\mu_E}{\rho} \times \frac{A_{Act.}}{4\pi(a^2 + y^2)}$$

:

$$dt = \frac{dy}{v}$$

:

dt

$$dD(y) = \frac{1}{v} \dot{D}(y) dy$$

:

AP

$$D_{AP} = E_\gamma \frac{\mu_E}{\rho} \int_{y=0}^{y=L} \times \frac{A_{Act.}}{4\pi v(a^2 + y^2)} dy = E_\gamma \frac{\mu_E}{\rho} \frac{A_{Act.}}{4\pi v a} \arctan \frac{L}{a}$$

:

BP

$$D_{BP} = E_\gamma \frac{\mu_E}{\rho} \int_{x=0}^{x=a+L} \frac{A_{Act.}}{4\pi v x^2} dx = E_\gamma \frac{\mu_E}{\rho} \frac{A_{Act.}}{4\pi v a} \frac{L}{(a+L)}$$

:

BP

AP

$$\frac{D_{AP}}{D_{BP}} = \frac{\arctan(L/a)}{(L/a)/(1+L/a)} > 1$$

. AP

BP

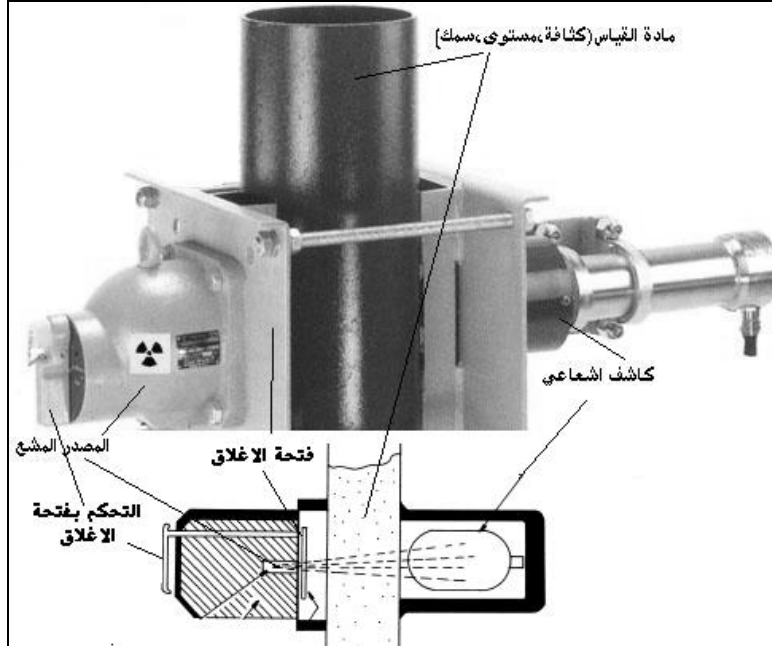
: (Nuclear – Gauges)

(12)

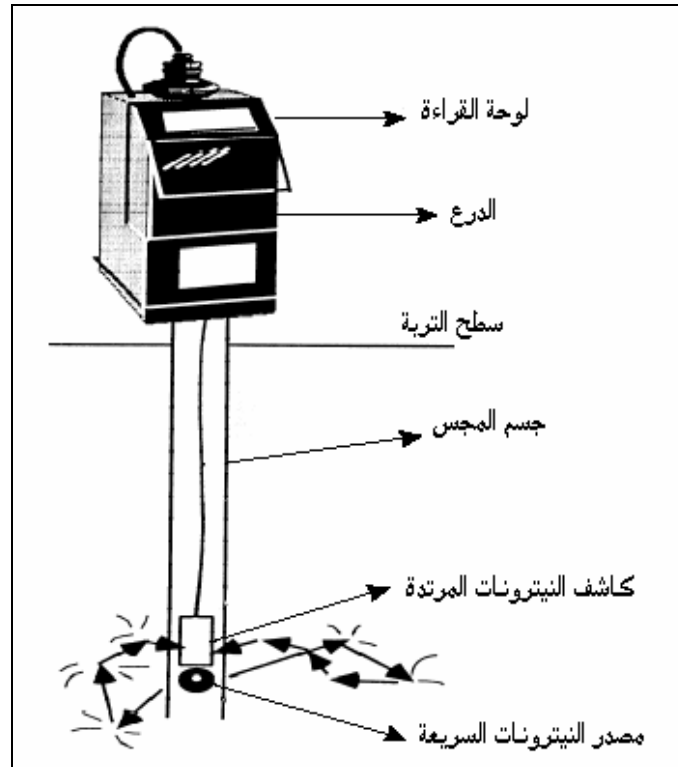
(Moisture and density gauges)

(13)

موقع الفريد في الفيزياء

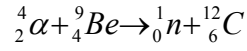


(12):



(13):

موقع الفريد في الفيزياء



50-10

(3)

:(3)

${}^{210}\text{Pb}$	${}^{210}\text{Po}$	${}^{226}\text{Ra}$	${}^{228}\text{Ra}$	${}^{227}\text{Ac}$	${}^{228}\text{Th}$	${}^{230}\text{Th}$	${}^{231}\text{Pa}$	${}^{232}\text{U}$
${}^{233}\text{U}$	${}^{234}\text{U}$	${}^{237}\text{Np}$	${}^{238}\text{Pu}$	${}^{239}\text{Pu}$	${}^{240}\text{Pu}$	${}^{241}\text{Pu}$	${}^{242}\text{Pu}$	${}^{241}\text{Am}$
${}^{243}\text{Am}$	${}^{242}\text{Cm}$	${}^{243}\text{Cm}$	${}^{244}\text{Cm}$	${}^{245}\text{Cm}$	${}^{246}\text{Cm}$	${}^{249}\text{Cf}$	${}^{250}\text{Cf}$	${}^{252}\text{Cf}$

/ 500
/ 10


5

800

[128]

50

(14)

		CAUTION RADIATION	
RADIOACTIVE SUBSTANCE	<input type="text"/>		
ACTIVITY	<input type="text"/>	DATE	<input type="text"/>
MAX. RADIATION LEVEL AT 1m	<input type="text"/>		
DATE MEASURED	<input type="text"/>		
MANUFACTURED BY:			
SERIAL No.	<input type="text"/>	MODEL No.	<input type="text"/>

:(14)

(15)

/ 2.5

(16)



:(15)

4

20



:(16)

[141]

200

Reference:

- [1] AAPM, Code of Practice for Radiotherapy Accelerators. AAPM Report No. 47, Medical Physics, Vol. 21, No. 7, (1994).
- [2] AAPM, Protocol for Clinical Dosimetry of High-Energy Photon and Electron Beams. Medical Physics, Vol. 26, Issue 9 (1999). Radiation Therapy Committee Task Group #51.
- [3] AAPM, Protocol for determination of absorbed dose from high-Energy photons and electrons beam. Medical Physics, Vol. 10, Issue 6(1983), Task Group #21.
- [4] Allisy A et al. Quantities and Units in use for Radiation Protection. ICRU News December: 5-9, (1991).
- [5] American National Standard. Personnel Dosimetry Performance Criteria for Testing, ANSI/HPS N13.11, Health Physics Society (2001).
- [6] American National Standards Institute, Radiological Safety Standards for the Design of Radiographic and Fluoroscopic Industrial X Ray Equipment, ANSI PB-270 970 (1977).
- [7] Approval and Test Specification – Medical Electrical Equipment Part 1.3: General Requirements for Safety - Collateral Standard: Requirements for Radiation Protection in Diagnostic X-Ray Equipment' AS/NZS 3200.1.3:(1996).
- [8] Atomic Energy Control Board. Working Safely with Nuclear Gauges, Canada, (2002).
- [9] Beatson Oncology Center, Glasgow, The radiobiological basis of the total body irradiation, The British Journal of Radiology, 70 (1997), 1204-1207.
- [10] Birght Dorschel et al. The physics of radiation protection. Nuclear Technology Publishing, (1995).
- [11] Blatt. Frank J. Modern Physics, McGraw Hill, Ch 15, Ch 14 (1992).

- [12] British Committee on Radiation Units and Measurements, New quantities in radiation protection and conversion factors, Radiat. Prot. Dosim. 14, 337-343, (1986).
- [13] Bureau International Des Poids Et Mesures, Le Système International d'Unités (SI), 4th edition (1981); The Quality Factor in Radiation Protection, ICRU Rep-40, Bethesda, MD (1981).
- [14] Bushong SC, 'Radiologic Science for Technologists - Physics, Biology, and Protection', 5th Ed., CV Mosby, St. Louis: (1993).
- [15] Canadian safety code 27, Requirements for Industrial X Ray Equipment: Use and Installation, 87 EHD-130 (1986).
- [16] Cember H. Introduction to health physics. Pergaman Press Inc. second edition: Pages: 261-262, (1985).
- [17] Champlong, P., et al., "Neutron reference radiations for calibrating neutron measuring devices used for radiation protection purposes and for determining their response as a function of neutron energy", Neutron Dosimetry in Biology and Medicine (Proc. 4th Symp. Munich-Neuherberg, 1981), Rep. EUR-7448, Vol. 1, CEC, Luxembourg 3387-394, (1981).
- [18] Chen R. and Leung P. L. A model for dose-rate dependence of thermoluminescence intensity. Applied physics. Vol. 33: Pages: 846-850, (2000).
- [19] Christensen's, Physics of Diagnostic Radiology - by Thomas S. Iii Curry, James E. Dowdey, Robert C., Jr Murry- 4th Edition- ISBN 0-8121-1310-1.
- [20] Chun Li et al. A patient dose verification program using diode detectors. Medical Dosimetry. 20, No. 3: Pages: 209-214, (1995).
- [21] Commission of the European Communities, Operational Quantities for Use in External Radiation Protection Measurements, An Investigation of Concepts and Principles, Rep. EUR-8346 EN, CEC, Luxembourg (1983).

- [22] Cross et al. Beta ray dose distributions from skin contamination. *Radiat Protect Dosim*; 40:149-162, (1992).
- [23] Cross et al. Beta ray dose distributions from skin contamination. *Radiat Protect Dosim*; 40:149-162 (1992).
- [24] Dam J. V. and Marinello G. Methods for in vivo Dosimetry in external radiotherapy. ESTRO and Garant. 1st Edition: (1994).
- [25] David P. Hickman. In vivo measurements. Internal radiation dosimetry, Health physics society,393-408, (1994).
- [26] Doll R. and Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *The British Journal of Radiology*, Vol. 70:130-139, (1997).
- [27] Driscall M. H. et al. Annealing procedures for commonly used radiothermoluminescent materials. *Radiat. Prot. Dosim.* 14. No. 1: 17-32, (1986).
- [28] Ebert, P.J., Gaines, J.L., Leipelt, G.R., Production of monoenergetic X-ray sources of known absolute intensity, *Nucl. Instrum. Methods* 99: 29-34,(1972).
- [29] Eisenhauer, C.M., Hunt, J.B., Schwartz, R.B., Calibration techniques for neutron personal dosimetry, *Radiat. Prot. Dosim.* 10 :43-57,(1985).
- [30] Eisenhauer, C.M., Schwartz, R.B., McCall, R.C., Effect of Air Scatter on Calibration of Instruments for Detecting Neutrons, *Radiat. Prot. Dosim.* 19: 77-84, (1987).
- [31] Eisenhauer, C.M., Schwartz, R.B., Review of scattering corrections for calibrations of neutron instruments, *Trans. Am. Nucl. Soc.* 55: 217-218, (1987).
- [32] Faiz M. K. The physics of radiation therapy. Williams & Wilkins. 2nd Edition, (1994).
- [33] Friedman W. A. et al. Linac Radiosurgery A Practical Guide. Springer: 57-96, (1997).

- [34] George L. Voelz and Jerrold T. Bushberg. Medical management of internal contamination accidents. Internal radiation dosimetry, Health physics society, 595 -608, (1994).
- [35] Griffith, R., Hankins, D.E., Gammage, R.B., Tommasino, L., Recent developments in personnel neutron dosimeters – A review, Health Phys. 36: 235-242,(1979).
- [36] Groenewald W, Wasserman H. Constants for calculating ambient and directional dose equivalents from radionuclide point sources. Health Physics; 58: 655-658,(1990).
- [37] Groenewald W, Wasserman H. Constants for calculating ambient and directional dose equivalents from radionuclide point sources. Health Physics; 58: 655-658, (1990).
- [38] Gunilla C. B. et al. Radiation therapy planning. Macmillan Publishing Company. 2nd edition, (1992).
- [39] Halden, B., Dyer, A., Graphic resolving of gamma spectra, Health physics. 10: 265-269, (1964).
- [40] Hankins, D.E., Phantoms for calibrating albedo neutron dosimeters, Health Phys. 39: 580–584, (1982).
- [41] Harris C. K. et al. A comparison of the effectiveness of thermoluminescent Crystals for clinical dosimetry. Medical physics. 24(9):1527-1529, (1997).
- [42] Hiffnar, E.J., Phelps, M.E., Production of monoenergetic X-rays from 8–87 keV, Phys. Med. Biol. 19:19–35, (1974).
- [43] Hirning Ross. Detection and determination limits for TLD Dosimetry. Health Physics. Vol. 62,: 223-227, (1992).
- [44] Horowitz, Y. Fading in LiF:Mg,Ti. Radiat. Prot. Dosim. 32: 147-148, (1990).
- [45] <http://physics.nist.gov/> - National Institute of Standards and Technology – USA

- [46] Hubbell, J.H. Bibliography of Photon Total Cross Section (Attenuation Coefficient) Measurements 10 eV to 13.5 GeV, 1907-1993, NISTIR 5437, (1994).
- [47] Hubbell, J.H. Photon Mass Attenuation and Energy-Absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV, Int. J. Appl. Radiat. Isot. 33: 1269-1290, (1982).
- [48] Huyskens D. et al. Practical guidelines for the implementation of in vivo dosimetry with diodes in external radiotherapy with photon beams. Physics for clinical radiotherapy. Booklet No. 5. 1st edition: European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO), (2001).
- [49] I A Tsalafoutas, E Yakoumakis, and P Sandilos. A model for calculating shielding requirements in diagnostic X-ray facilities. British Journal of Radiology 76, 731-737, (2003).
- [50] IAEA, Schedules of Requirements for the Transport of Specified Types of Radioactive Material Consignments (As Amended 1990), Safety Series No. 80, Vienna (1990).
- [51] IAEA, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Technical Reports Series No. 398, (2001)
- [52] IAEA, Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams: An International Code of Practice, 2nd Edition, Technical Reports Series No. 277, (1997).
- [53] IAEA, Assessment of Occupational Exposure due to Intakes of Radionuclides, Safety Standards Series No. RS-G-1.2, IAEA, Vienna (1999).
- [54] IAEA, Calibration of radiation protection monitoring instruments , IAEA Safety Reports Series, No. 16, Vienna (2000).

- [55] IAEA, Radiation doses in diagnostic radiology and methods for dose reduction, IAEA-TECDOC-796, Vienna (1995).
- [56] IAEA, Classification of Radioactive Waste, Safety Series No. 111-G-1.1, , Vienna (1994).
- [57] IAEA, Compendium of Neutron Spectra and Detector Responses for Radiation Protection Purposes, Technical Reports Series, No. 318, IAEA, Vienna (1990).
- [58] IAEA, Establishing a National System for Radioactive Waste Management, Safety Series No. 111-S-1, Vienna (1995).
- [59] IAEA, Radiation protection in diagnostic radiology. Basic medical radiation safety training package, Vienna, (2001).
- [60] IAEA, Radiation protection in nuclear medicine. Basic medical radiation safety training package, Vienna, (2001).
- [61] IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna (1996).
- [62] IAEA, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, Vienna (1998).
- [63] IAEA, Manual of Dosimetry in Radiotherapy, Technical Reports Series No. 110, Vienna (1970).
- [64] IAEA, Measurement of radionuclides in food and the environment. Technical reports series. No. 295.(1989).
- [65] IAEA, Occupational Radiation Protection, Safety Standards Series No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- [66] IAEA, Practical Radiation Safety Manual on Gamma Radiography, IAEA-PRSM-1 (Rev.1), Vienna (1996).
- [67] IAEA, Radiation protection and safety in industrial radiography, Safety Reports Series No. 13, Vienna (1999).

- [68] IAEA, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 120, IAEA, Vienna (1996).
- [69] IAEA, Practical Radiation Technical Manual, Health effects and medical surveillance, Vienna (1998).
- [70] IAEA, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition, Safety Standards Series No. ST-1, Vienna, (1996).
- [71] IAEA, Safety Standards Series, Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation. No. RS-G-1.5, (2004).
- [72] IAEA, Training in radiation protection and the safe use of Radiation sources.. No. SRS-20, (2001).
- [73] IAEA,. Absorbed dose determination in photon and electron beams. An international code of practice, Technical Reports Series No. 277, Vienna, Austria (1987).
- [74] IAEA,. Radiation protection in radiotherapy. Basic medical radiation safety training package, Vienna, (2001).
- [75] IAEA. Intercomparison for Individual Monitoring of External Exposure to Photon Radiation, TEC. DOC. Results of a Co-ordinated Research Project (1996-1998).
- [76] International Commission on Radiation Units and Measurements, Conceptual Basis for the Determination of Dose Equivalent, Rep. ICRU-25, Bethesda, MD (1976).
- [77] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, Determination of absorbed dose in a patient irradiated by beams of X or gamma rays in radiotherapy procedures, ICRU Rep. 24, ICRU Publications, Bethesda, Maryland (1976).
- [78] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, *Radiation Quantities and Units*, Report 33, (Bethesda, MD), (1980).

- [79] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, *Stopping Powers for Electrons and Positrons*, Report 37, (Bethesda, MD), (1984).
- [80] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, *Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement*, Report 44, (Bethesda, MD), (1989).
- [81] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, *Absorbed dose specification in nuclear medicine*. report No. 67, (Bethesda, MD), 2002.
- [82] International Commission On Radiation Units And Measurements, ICRU, *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*, Report No. 51, ICRU, Bethesda, MD (1993).
- [83] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, *Microdosimetry*, ICRU Rep. 36, ICRU Publications, Bethesda, Maryland, (1980).
- [84] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, *Radiation Dosimetry: X Rays Generated at Potentials of 5 to 150 kV*, Rep. ICRU-17, Bethesda, MD (1970).
- [85] International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU, *Radiation Quantities and Units*, Rep. ICRU-19, Bethesda, MD (1971).
- [86] International Commission on Radiological Protection , ICRP 62, *Summary of the Current ICRP Principles for Protection of the Patient in Diagnostic Radiology'*, Pergamon, Oxford: (1993).
- [87] International Commission on Radiological Protection, *General Principles for the Radiation Protection of Workers*, ICRP Publication No. 75, Pergamon Press, Oxford and New York (1997).
- [88] International Commission on Radiological Protection, ICRP 60, *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection'*, Pergamon, Oxford: (1991).

- [89] International Commission on Radiological Protection, ICRP report 17: Data for Use in Protection against External Radiation, Annals of the, Nos 2/3, Pergamon Press (1987).
- [90] International Commission on Radiological Protection, ICRP, Report 27 : Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 27, Annals of the ICRP, Pergamon, Oxford, (1977).
- [91] International Commission on Radiological Protection, ICRP, Report 30 : Limits for intakes of radionuclides by workers. Pergamon, Oxford, (1979).
- [92] International Commission on Radiological Protection, ICRP, Report 34 : Protection of the patient in Diagnostic Radiology, Pergamon, Oxford, (1982).
- [93] International Commission on Radiological Protection, ICRP, Report 44 : Protection of the patient in Radiation Therapy, Pergamon, Oxford, (1985).
- [94] International Commission on Radiological Protection, ICRP, Report 61 : Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers Pergamon, Oxford, (1991).
- [95] International Commission on Radiological Protection, International Commission On Radiation Units And Measurements, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation, Report of the Joint Task Group, ICRP Publication No. 74, ICRU Report No. 57, Pergamon Press, Oxford and New York (1997).
- [96] International Commission on Radiological Protection, Protection against Ionizing Radiation from External Sources, ICRP Publication 21, ICRP (1973).
- [97] International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the International Commission on Radiological

- Protection, ICRP Publication No. 60, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).
- [98] International Commission on Radiological Protection, Statement and Recommendation of the 1980 Brighton Meeting of the ICRP, Annals of the ICRP 4, Nos. 3/4, Pergamon Press, Oxford (1980).
- [99] International Commission on Radiological Protection, Statement from the 1978 Stockholm Meeting of the ICRP, Annals of the ICRP-2, No. 1, Pergamon Press, Oxford (1979).
- [100] International Commission on Radiological Protection, The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin, ICRP Publication No. 59, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).
- [101] International Commission on Radiological Protection. Individual monitoring for internal exposure of workers. ICRP Publication 78, (1998).
- [102] International Commission on Radiological Protection. General principles for the radiation protection of workers. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP. Vol. 27. Issue1, (1997).
- [103] International Commission on Radiological Protection. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66, (1994).
- [104] International Commission on Radiological Protection. Pregnancy and medical radiation. ICRP Publication 84. Annals of the ICRP. Vol. 30. Issue1: 1-39, (2000).
- [105] International Organization For Standardization, Exposure Meters and Dosimeters: General Methods of Testing, ISO 4071, Geneva (1978).
- [106] International Organization for Standardization, General Principles Concerning Quantities, Units and Symbols, Rep. ISO-31/0, Geneva (1981).

- [107] International Organization for Standardization, Guide to Expression of Uncertainty in Measurement, ISO, Geneva (1993).
- [108] International Organization for Standardization, ISO 3999, Apparatus for Industrial Gamma Radiography Specifications for Performance, Design and Tests, ISO/TC 85/SC 2N 78, ISO, Geneva (1994).
- [109] International Organization for Standardization, Sealed Radioactive Sources Leakage Test Methods, ISO/TC 85/SC 2N 390, ISO, Geneva (1988).
- [110] IPEM, The Institute of Physics and Engineering in Medicine, Report no. 75, (1997)
- [111] Johns, H. E.: Cunningham, J. R. The physics of radiology. Springfield, IL: Charles C. Thomas. 4th Edition, (1983).
- [112] Jones B. et al. The role of biologically effective dose (BED) in clinical oncology. Clinical Oncology. Vol. 13: 71-81, (2001).
- [113] L.B Beentjes and C.W.M. Timmermans. Patient dose in the Netherlands. Radiation protection dosimetry. Volume 36 No. 2/4:265-268, (1991).
- [114] M. Stoval, C.R. Blackwell, J. Cundiff et al., Fetal dose from radiotherapy with photon beams: Report of AAPM Radiation Therapy Task Group No. 36. Med. Phys 22: 63-82, (1995).
- [115] Majali M. Estimation of the peripheral dose in radiotherapy. M. Sc. Thesis. Czech Technical University in Prague. Faculty of nuclear science and physical engineering, (2002).
- [116] Majali M. et al. Measurement of the peripheral dose for Linac stereotactic radiotherapy. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 106 (3): 247-252, (2003).
- [117] Marples et al. Low dose hyper-radio sensitivity and increased radio resistance in mammalian cell. Int. J. Radiat. Biol. 71: 721-735, (1997).

- [118] Martin James, Physics for radiation protection, John Wiley & Sons, INC.(2000).
- [119] McKinley F. Thermoluminescence Dosimetry. Medical Physics Handbook: 5. Adam Hilger Ltd: (1981).
- [120] Mendenhall W. Introduction to probability and statistics. Duxbury Press. 6th Edition, (1983).
- [121] Milton J S. Statistical methods in the biological and health sciences. McGraw-Hill, Inc. 2nd edition, (1992).
- [122] Ministry of Health of Canada, Radiation Protection and Safety for Industrial X-ray Equipment, Safety Code 34, , ISBN 0- 662- 35570- 9, (2003).
- [123] National Bureau of Standards Handbook 76, , Washington, D.C. (1961).
- [124] National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP-report 49. (1976).
- [125] National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP-report 51. (1977).
- [126] National Health and Medical Research Council, Code of Practice for the Safe Use of Soil Density and Moisture Gauges containing Radioactive Sources, Australian Radiation Laboratory, Canberra, Australia, (1984).
- [127] National Health and Medical Research Council, Code of practice for the safe use of industrial radiography equipment, Radiation health series (31), Australian Radiation Laboratory, Canberra, Australia, (1989).
- [128] National Health and Medical Research Council, Code of Practice for the Safe Use of radiation Gauges, Australian Radiation Laboratory, Canberra, Australia, (1982).

- [129] Nelson W. R. and Shore R. A. Unwanted photon and neutron radiation resulting from collimated photon beam interacting with the body of radiotherapy patients. Medical physics. Vol. 9(1): 27-33, (1982).
- [130] Nelson W. R. and Shore R. A. Unwanted radiation produced by leakage neutrons from medical electron accelerators. Medical physics. Vol. 9(1): 34-36, (1982).
- [131] Nuclear data extracted from NCRP Report No 58, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures (1985).
- [132] P Dendy, Addenbrookes, B . Heaton. Physics for Diagnostic Radiology, 2nd Edition, ISBN-0750305908, (1999).
- [133] Phillips M. H. Physical Aspects of Stereotactic Radiosurgery. Plenum Publishing Corporation. (1993).
- [134] Snyder et al. estimates of (MPC) for occupational exposure to Sr. Health physics. 10:171-182; (1964).
- [135] Singh P. Narayani. Measurements for In vitro bioassay of radionuclide. Internal radiation dosimetry, Health physics society, 409-430, (1994).
- [136] T. Kron, et al. X-ray surface dose measurements using TLD extrapolation. Medical Physics. Vol. 20: 703-711, (1993).
- [137] The National Council on Radiation Protection. Influence of dose and its distribution in time on dose-response relationship for low-LET radiation. Report No. 64, (1980).
- [138] The State Library in Pretoria, Code of practice for industrial radiography x-ray radiography, The SA Library in Cape Town, (2002).
- [139] Turner J. E. Atoms, Radiation and Radiation Protection. Pergamon Press Inc., NY: 1st Edition, (1986).
- [140] U.S. Department of Energy. Standard for the Performance Testing of Personnel Dosimetry Systems. DOE Laboratory Accreditation

- Program for Personnel Dosimetry Systems. Washington, D.C. 20545 (1986).
- [141] United States Department of Agriculture, Permit Conditions for Moisture / Density Gauges, <http://www.rss.usda.gov/gaugepc.htm>.
- [142] Wesley E. Bolch. Physical and chemical interaction of radiation with living tissues. Internal Radiation Dosimetry. Health physics society, Medical physics publishing, Madison, Wisconsin, (1994).
- [143] WHO: (RAD / 94. 1) WHIS-RAD – World Health Imaging System for Radiography (1994).
- [144] www.newcastle.edu.au. Radiation Safety Manual, The University of Newcastle, Australia.
- [145] www.nmsu.edu, New Mexico State University Radiation Safety Manual, USA.
- [146] www.cs.nsw.gov.au, Royal Prince Alfred Hospital, Australia.

Table 1. SI base units

Base quantity	SI base unit	
	Name	Symbol
length	meter	m
mass	kilogram	kg
time	second	s
electric current	ampere	A
thermodynamic temperature	Kelvin	K
amount of substance	mole	mol
luminous intensity	candela	cd

Table 2 . SI prefixes

Factor	Name	Symbol	Factor	Name	Symbol
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deka	da	10^{-24}	yocto	y

Mass attenuation coefficients

OXYGEN Z = 8			IRON Z = 26		
Attenuation			Attenuation		
Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_m/ρ (cm ² /g)	Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_m/ρ (cm ² /g)
1.00000E-03	4.590E+03	4.576E+03	1.00000E-03	9.085E+03	9.052E+03
1.50000E-03	1.549E+03	1.545E+03	1.50000E-03	3.399E+03	3.388E+03
2.00000E-03	6.949E+02	6.926E+02	2.00000E-03	1.626E+03	1.620E+03
3.00000E-03	2.171E+02	2.158E+02	3.00000E-03	5.576E+02	5.535E+02
4.00000E-03	9.315E+01	9.221E+01	4.00000E-03	2.567E+02	2.536E+02
5.00000E-03	4.790E+01	4.715E+01	5.00000E-03	1.398E+02	1.372E+02
6.00000E-03	2.770E+01	2.708E+01	6.00000E-03	8.484E+01	8.265E+01
8.00000E-03	1.163E+01	1.116E+01	7.11200E-03	5.319E+01	5.133E+01
1.00000E-02	5.952E+00	5.565E+00	8.00000E-03	3.056E+02	2.316E+02
1.50000E-02	1.836E+00	1.545E+00	1.00000E-02	1.706E+02	1.369E+02
2.00000E-02	8.651E-01	6.179E-01	1.50000E-02	5.708E+01	4.896E+01
3.00000E-02	3.779E-01	1.729E-01	2.00000E-02	2.568E+01	2.260E+01
4.00000E-02	2.585E-01	7.530E-02	3.00000E-02	8.176E+00	7.251E+00
5.00000E-02	2.132E-01	4.414E-02	4.00000E-02	3.629E+00	3.155E+00
6.00000E-02	1.907E-01	3.207E-02	5.00000E-02	1.958E+00	1.638E+00
8.00000E-02	1.678E-01	2.468E-02	6.00000E-02	1.205E+00	9.555E-01
1.00000E-01	1.551E-01	2.355E-02	8.00000E-02	5.952E-01	4.104E-01
1.50000E-01	1.361E-01	2.506E-02	1.00000E-01	3.717E-01	2.177E-01
2.00000E-01	1.237E-01	2.679E-02	1.50000E-01	1.964E-01	7.961E-02
3.00000E-01	1.070E-01	2.877E-02	2.00000E-01	1.460E-01	4.825E-02
4.00000E-01	9.566E-02	2.953E-02	3.00000E-01	1.099E-01	3.361E-02
5.00000E-01	8.729E-02	2.971E-02	4.00000E-01	9.400E-02	3.039E-02
6.00000E-01	8.070E-02	2.957E-02	5.00000E-01	8.414E-02	2.914E-02
8.00000E-01	7.087E-02	2.887E-02	6.00000E-01	7.704E-02	2.836E-02
1.00000E+00	6.372E-02	2.794E-02	8.00000E-01	6.699E-02	2.714E-02
1.25000E+00	5.697E-02	2.669E-02	1.00000E+00	5.995E-02	2.603E-02
1.50000E+00	5.185E-02	2.551E-02	1.25000E+00	5.350E-02	2.472E-02
2.00000E+00	4.459E-02	2.350E-02	1.50000E+00	4.883E-02	2.360E-02
3.00000E+00	3.597E-02	2.066E-02	2.00000E+00	4.265E-02	2.199E-02
4.00000E+00	3.100E-02	1.882E-02	3.00000E+00	3.621E-02	2.042E-02
5.00000E+00	2.777E-02	1.757E-02	4.00000E+00	3.312E-02	1.990E-02
6.00000E+00	2.552E-02	1.668E-02	5.00000E+00	3.146E-02	1.983E-02
8.00000E+00	2.263E-02	1.553E-02	6.00000E+00	3.057E-02	1.997E-02
1.00000E+01	2.089E-02	1.483E-02	8.00000E+00	2.991E-02	2.050E-02
1.50000E+01	1.866E-02	1.396E-02	1.00000E+01	2.994E-02	2.108E-02
2.00000E+01	1.770E-02	1.360E-02	1.50000E+01	3.092E-02	2.221E-02
			2.00000E+01	3.224E-02	2.292E-02

LEAD $Z = 82$

Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
1.00000E-03	5.210E+03	5.197E+03
2.00000E-03	1.285E+03	1.274E+03
3.00000E-03	1.965E+03	1.913E+03
3.55420E-03	1.496E+03	1.459E+03
4.00000E-03	1.251E+03	1.221E+03
5.00000E-03	7.304E+02	7.124E+02
6.00000E-03	4.672E+02	4.546E+02
8.00000E-03	2.287E+02	2.207E+02
1.00000E-02	1.306E+02	1.247E+02
1.50000E-02	1.116E+02	9.100E+01
1.52000E-02	1.078E+02	8.807E+01
1.55269E-02	1.416E+02	1.083E+02
1.58608E-02	1.344E+02	1.032E+02
2.00000E-02	8.636E+01	6.899E+01
3.00000E-02	3.032E+01	2.536E+01
4.00000E-02	1.436E+01	1.211E+01
5.00000E-02	8.041E+00	6.740E+00
6.00000E-02	5.021E+00	4.149E+00
8.00000E-02	2.419E+00	1.916E+00
1.00000E-01	5.549E+00	1.976E+00
2.00000E-01	9.985E-01	5.870E-01
3.00000E-01	4.031E-01	2.455E-01
4.00000E-01	2.323E-01	1.370E-01
5.00000E-01	1.614E-01	9.128E-02
6.00000E-01	1.248E-01	6.819E-02
8.00000E-01	8.870E-02	4.644E-02
1.00000E+00	7.102E-02	3.654E-02
1.25000E+00	5.876E-02	2.988E-02
1.50000E+00	5.222E-02	2.640E-02
2.00000E+00	4.606E-02	2.360E-02
3.00000E+00	4.234E-02	2.322E-02
4.00000E+00	4.197E-02	2.449E-02
5.00000E+00	4.272E-02	2.600E-02
6.00000E+00	4.391E-02	2.744E-02
8.00000E+00	4.675E-02	2.989E-02
1.00000E+01	4.972E-02	3.181E-02
1.50000E+01	5.658E-02	3.478E-02
2.00000E+01	6.206E-02	3.595E-02

COPPER $Z = 29$

Energy (MeV)	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
1.00000E-03	1.057E+04	1.049E+04
1.04695E-03	9.307E+03	9.241E+03
1.50000E-03	4.418E+03	4.393E+03
2.00000E-03	2.154E+03	2.142E+03
3.00000E-03	7.488E+02	7.430E+02
4.00000E-03	3.473E+02	3.432E+02
5.00000E-03	1.899E+02	1.866E+02
6.00000E-03	1.156E+02	1.128E+02
8.00000E-03	5.255E+01	5.054E+01
8.97890E-03	3.829E+01	3.652E+01
1.00000E-02	2.159E+02	1.484E+02
1.50000E-02	7.405E+01	5.788E+01
2.00000E-02	3.379E+01	2.788E+01
3.00000E-02	1.092E+01	9.349E+00
4.00000E-02	4.862E+00	4.163E+00
5.00000E-02	2.613E+00	2.192E+00
6.00000E-02	1.593E+00	1.290E+00
8.00000E-02	7.630E-01	5.581E-01
1.00000E-01	4.584E-01	2.949E-01
1.50000E-01	2.217E-01	1.027E-01
2.00000E-01	1.559E-01	5.781E-02
3.00000E-01	1.119E-01	3.617E-02
4.00000E-01	9.413E-02	3.121E-02
5.00000E-01	8.362E-02	2.933E-02
6.00000E-01	7.625E-02	2.826E-02
8.00000E-01	6.605E-02	2.681E-02
1.00000E+00	5.901E-02	2.562E-02
1.25000E+00	5.261E-02	2.428E-02
1.50000E+00	4.803E-02	2.316E-02
2.00000E+00	4.205E-02	2.160E-02
3.00000E+00	3.599E-02	2.023E-02
4.00000E+00	3.318E-02	1.989E-02
5.00000E+00	3.177E-02	1.998E-02
6.00000E+00	3.108E-02	2.027E-02
8.00000E+00	3.074E-02	2.100E-02
1.00000E+01	3.103E-02	2.174E-02
1.50000E+01	3.247E-02	2.309E-02
2.00000E+01	3.408E-02	2.387E-02

Stopping Power and Range Tables for Alpha Particles
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (MYLAR)

Kinetic Energy (MeV)	Stopping Power (MeV cm ² /g)			CSDA (g/cm ²)	Range (g/cm ²)	Detour Factor Projected / CSDA*
	Electronic	Nuclear	Total			
.0010	1.632E+02	1.829E+02	3.461E+02	3.432E-06	1.681E-06	.4897
.0015	1.953E+02	1.680E+02	3.633E+02	4.835E-06	2.487E-06	.5144
.0020	2.218E+02	1.554E+02	3.773E+02	6.186E-06	3.310E-06	.5351
.0025	2.449E+02	1.449E+02	3.898E+02	7.489E-06	4.139E-06	.5527
.0030	2.656E+02	1.359E+02	4.015E+02	8.753E-06	4.972E-06	.5680
.0040	3.019E+02	1.215E+02	4.234E+02	1.118E-05	6.637E-06	.5938
.0050	3.335E+02	1.103E+02	4.438E+02	1.348E-05	8.292E-06	.6150
.0060	3.618E+02	1.013E+02	4.631E+02	1.569E-05	9.928E-06	.6328
.0070	3.876E+02	9.388E+01	4.815E+02	1.781E-05	1.154E-05	.6482
.0080	4.115E+02	8.764E+01	4.991E+02	1.985E-05	1.313E-05	.6618
.0090	4.338E+02	8.230E+01	5.161E+02	2.182E-05	1.470E-05	.6738
.0100	4.548E+02	7.767E+01	5.325E+02	2.372E-05	1.624E-05	.6845
.0125	5.027E+02	6.835E+01	5.711E+02	2.825E-05	1.998E-05	.7073
.0150	5.457E+02	6.127E+01	6.069E+02	3.250E-05	2.359E-05	.7258
.0175	5.848E+02	5.568E+01	6.405E+02	3.651E-05	2.706E-05	.7411
.0200	6.210E+02	5.114E+01	6.722E+02	4.032E-05	3.040E-05	.7542
.0225	6.548E+02	4.736E+01	7.022E+02	4.395E-05	3.364E-05	.7654
.0250	6.866E+02	4.416E+01	7.308E+02	4.744E-05	3.678E-05	.7753
.0275	7.167E+02	4.142E+01	7.581E+02	5.080E-05	3.983E-05	.7841
.0300	7.453E+02	3.903E+01	7.843E+02	5.404E-05	4.280E-05	.7919
.0350	7.987E+02	3.507E+01	8.338E+02	6.022E-05	4.850E-05	.8054
.0400	8.479E+02	3.191E+01	8.799E+02	6.606E-05	5.394E-05	.8166
.0450	8.938E+02	2.933E+01	9.231E+02	7.160E-05	5.916E-05	.8262
.0500	9.368E+02	2.717E+01	9.640E+02	7.690E-05	6.417E-05	.8344
.0550	9.774E+02	2.534E+01	1.003E+03	8.199E-05	6.900E-05	.8417
.0600	1.016E+03	2.376E+01	1.040E+03	8.688E-05	7.368E-05	.8480
.0650	1.052E+03	2.238E+01	1.075E+03	9.161E-05	7.821E-05	.8538
.0700	1.087E+03	2.117E+01	1.108E+03	9.619E-05	8.262E-05	.8589
.0750	1.121E+03	2.009E+01	1.141E+03	1.006E-04	8.691E-05	.8636
.0800	1.153E+03	1.913E+01	1.172E+03	1.050E-04	9.109E-05	.8678

.0850	1.183E+03	1.827E+01	1.202E+03	1.092E-04	9.517E-05	.8717
.0900	1.213E+03	1.748E+01	1.230E+03	1.133E-04	9.916E-05	.8753
.0950	1.241E+03	1.677E+01	1.258E+03	1.173E-04	1.031E-04	.8786
.1000	1.269E+03	1.612E+01	1.285E+03	1.212E-04	1.069E-04	.8817
.1250	1.393E+03	1.354E+01	1.407E+03	1.398E-04	1.250E-04	.8945
.1500	1.500E+03	1.173E+01	1.512E+03	1.569E-04	1.419E-04	.9040
.1750	1.593E+03	1.037E+01	1.603E+03	1.730E-04	1.577E-04	.9115
.2000	1.673E+03	9.315E+00	1.683E+03	1.882E-04	1.727E-04	.9176
.2250	1.744E+03	8.468E+00	1.752E+03	2.027E-04	1.871E-04	.9228
.2500	1.806E+03	7.773E+00	1.814E+03	2.168E-04	2.010E-04	.9271
.2750	1.860E+03	7.191E+00	1.868E+03	2.303E-04	2.144E-04	.9309
.3000	1.908E+03	6.696E+00	1.914E+03	2.436E-04	2.275E-04	.9342
.3500	1.985E+03	5.897E+00	1.991E+03	2.691E-04	2.529E-04	.9398
.4000	2.042E+03	5.279E+00	2.047E+03	2.939E-04	2.776E-04	.9444
.4500	2.083E+03	4.786E+00	2.087E+03	3.181E-04	3.016E-04	.9483
.5000	2.110E+03	4.382E+00	2.114E+03	3.418E-04	3.253E-04	.9516
.5500	2.126E+03	4.046E+00	2.130E+03	3.654E-04	3.487E-04	.9544
.6000	2.133E+03	3.760E+00	2.137E+03	3.888E-04	3.721E-04	.9570
.6500	2.133E+03	3.515E+00	2.136E+03	4.122E-04	3.954E-04	.9592
.7000	2.126E+03	3.301E+00	2.130E+03	4.357E-04	4.188E-04	.9612
.7500	2.115E+03	3.114E+00	2.118E+03	4.592E-04	4.422E-04	.9631
.8000	2.100E+03	2.948E+00	2.103E+03	4.829E-04	4.659E-04	.9648
.8500	2.082E+03	2.800E+00	2.084E+03	5.068E-04	4.897E-04	.9663
.9000	2.061E+03	2.667E+00	2.064E+03	5.309E-04	5.137E-04	.9677
.9500	2.038E+03	2.547E+00	2.041E+03	5.552E-04	5.381E-04	.9691
1.0000	2.014E+03	2.437E+00	2.016E+03	5.799E-04	5.626E-04	.9703
1.2500	1.874E+03	2.013E+00	1.876E+03	7.083E-04	6.908E-04	.9753
1.5000	1.731E+03	1.720E+00	1.733E+03	8.470E-04	8.293E-04	.9791
1.7500	1.599E+03	1.506E+00	1.601E+03	9.971E-04	9.793E-04	.9821
2.0000	1.482E+03	1.341E+00	1.483E+03	1.159E-03	1.141E-03	.9844
2.2500	1.379E+03	1.210E+00	1.380E+03	1.334E-03	1.316E-03	.9863
2.5000	1.290E+03	1.104E+00	1.291E+03	1.522E-03	1.503E-03	.9879
2.7500	1.215E+03	1.016E+00	1.216E+03	1.721E-03	1.703E-03	.9892
3.0000	1.148E+03	9.414E-01	1.149E+03	1.933E-03	1.914E-03	.9903
3.5000	1.038E+03	8.223E-01	1.038E+03	2.391E-03	2.372E-03	.9920
4.0000	9.485E+02	7.311E-01	9.492E+02	2.896E-03	2.876E-03	.9932

4.5000	8.753E+02	6.590E-01	8.759E+02	3.445E-03	3.425E-03	.9942
5.0000	8.138E+02	6.004E-01	8.144E+02	4.037E-03	4.017E-03	.9949
5.5000	7.615E+02	5.517E-01	7.620E+02	4.672E-03	4.651E-03	.9955
6.0000	7.163E+02	5.107E-01	7.168E+02	5.349E-03	5.328E-03	.9960
6.5000	6.766E+02	4.757E-01	6.771E+02	6.067E-03	6.045E-03	.9964
7.0000	6.416E+02	4.453E-01	6.421E+02	6.826E-03	6.803E-03	.9967
7.5000	6.105E+02	4.188E-01	6.109E+02	7.624E-03	7.602E-03	.9970
8.0000	5.825E+02	3.953E-01	5.829E+02	8.462E-03	8.439E-03	.9972
8.5000	5.573E+02	3.745E-01	5.577E+02	9.340E-03	9.316E-03	.9974
9.0000	5.344E+02	3.558E-01	5.348E+02	1.026E-02	1.023E-02	.9976
9.5000	5.136E+02	3.390E-01	5.139E+02	1.121E-02	1.118E-02	.9978
10.0000	4.945E+02	3.238E-01	4.948E+02	1.220E-02	1.218E-02	.9979
12.5000	4.186E+02	2.650E-01	4.189E+02	1.771E-02	1.769E-02	.9984
15.0000	3.645E+02	2.248E-01	3.647E+02	2.413E-02	2.410E-02	.9987
17.5000	3.238E+02	1.955E-01	3.240E+02	3.142E-02	3.138E-02	.9989
20.0000	2.920E+02	1.732E-01	2.922E+02	3.955E-02	3.951E-02	.9990
25.0000	2.452E+02	1.413E-01	2.454E+02	5.831E-02	5.826E-02	.9992
27.5000	2.275E+02	1.295E-01	2.276E+02	6.889E-02	6.884E-02	.9992
30.0000	2.123E+02	1.195E-01	2.124E+02	8.027E-02	8.021E-02	.9993
35.0000	1.878E+02	1.037E-01	1.879E+02	1.053E-01	1.053E-01	.9993
40.0000	1.688E+02	9.168E-02	1.689E+02	1.335E-01	1.334E-01	.9994
45.0000	1.536E+02	8.221E-02	1.536E+02	1.645E-01	1.644E-01	.9994
50.0000	1.411E+02	7.454E-02	1.411E+02	1.985E-01	1.984E-01	.9994
55.0000	1.306E+02	6.819E-02	1.307E+02	2.354E-01	2.353E-01	.9995
60.0000	1.217E+02	6.286E-02	1.218E+02	2.750E-01	2.749E-01	.9995
65.0000	1.141E+02	5.831E-02	1.142E+02	3.175E-01	3.173E-01	.9995
70.0000	1.075E+02	5.439E-02	1.075E+02	3.626E-01	3.624E-01	.9995
75.0000	1.016E+02	5.097E-02	1.017E+02	4.105E-01	4.103E-01	.9995
80.0000	9.642E+01	4.796E-02	9.647E+01	4.610E-01	4.608E-01	.9995
85.0000	9.180E+01	4.529E-02	9.184E+01	5.141E-01	5.139E-01	.9995
90.0000	8.764E+01	4.291E-02	8.768E+01	5.699E-01	5.696E-01	.9995
95.0000	8.388E+01	4.077E-02	8.392E+01	6.282E-01	6.279E-01	.9995
100.0000	8.046E+01	3.884E-02	8.050E+01	6.890E-01	6.887E-01	.9995
125.0000	6.717E+01	3.139E-02	6.720E+01	1.031E+00	1.030E+00	.9996
150.0000	5.800E+01	2.635E-02	5.803E+01	1.432E+00	1.432E+00	.9996
175.0000	5.126E+01	2.271E-02	5.129E+01	1.891E+00	1.891E+00	.9996

200.0000	4.610E+01	1.996E-02	4.612E+01	2.406E+00	2.405E+00	.9996
225.0000	4.200E+01	1.781E-02	4.202E+01	2.975E+00	2.974E+00	.9996
250.0000	3.867E+01	1.608E-02	3.869E+01	3.596E+00	3.594E+00	.9996
275.0000	3.591E+01	1.466E-02	3.592E+01	4.267E+00	4.265E+00	.9996
300.0000	3.358E+01	1.346E-02	3.359E+01	4.987E+00	4.985E+00	.9996
350.0000	2.986E+01	1.157E-02	2.987E+01	6.569E+00	6.567E+00	.9996
400.0000	2.702E+01	1.015E-02	2.703E+01	8.332E+00	8.329E+00	.9997
450.0000	2.477E+01	9.037E-03	2.478E+01	1.027E+01	1.026E+01	.9997
500.0000	2.296E+01	8.146E-03	2.297E+01	1.236E+01	1.236E+01	.9997
550.0000	2.146E+01	7.414E-03	2.146E+01	1.462E+01	1.461E+01	.9997
600.0000	2.019E+01	6.801E-03	2.020E+01	1.702E+01	1.702E+01	.9997
650.0000	1.912E+01	6.281E-03	1.912E+01	1.957E+01	1.956E+01	.9997
700.0000	1.819E+01	5.836E-03	1.820E+01	2.225E+01	2.224E+01	.9997
750.0000	1.738E+01	5.450E-03	1.739E+01	2.506E+01	2.505E+01	.9997
800.0000	1.667E+01	5.112E-03	1.668E+01	2.800E+01	2.799E+01	.9997
850.0000	1.604E+01	4.813E-03	1.604E+01	3.106E+01	3.105E+01	.9997
900.0000	1.548E+01	4.547E-03	1.548E+01	3.423E+01	3.422E+01	.9997
950.0000	1.497E+01	4.309E-03	1.498E+01	3.751E+01	3.750E+01	.9997
1000.0000	1.452E+01	4.095E-03	1.452E+01	4.090E+01	4.089E+01	.9997

* Continuous-Slowing-Down Approximation

Stopping Powers and Range Tables for Protons AIR (dry, near sea level)

Energy MeV	Electron stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Nuclear stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Projected Range (g/cm ²)	Detour Factor
1.000E-03	1.197E+02	2.163E+01	1.414E+02	9.857E-06	3.257E-06	0.3304
2.000E-03	1.693E+02	1.614E+01	1.855E+02	1.595E-05	6.577E-06	0.4123
3.000E-03	2.074E+02	1.314E+01	2.206E+02	2.088E-05	9.759E-06	0.4674
4.000E-03	2.395E+02	1.120E+01	2.507E+02	2.512E-05	1.277E-05	0.5084
5.000E-03	2.678E+02	9.825E+00	2.776E+02	2.891E-05	1.563E-05	0.5406
6.000E-03	2.933E+02	8.786E+00	3.021E+02	3.236E-05	1.834E-05	0.5669
7.000E-03	3.168E+02	7.970E+00	3.248E+02	3.555E-05	2.094E-05	0.5889
8.000E-03	3.387E+02	7.310E+00	3.460E+02	3.853E-05	2.342E-05	0.6078
9.000E-03	3.592E+02	6.762E+00	3.660E+02	4.134E-05	2.580E-05	0.6242
1.000E-02	3.787E+02	6.300E+00	3.850E+02	4.400E-05	2.810E-05	0.6387
1.500E-02	4.504E+02	4.751E+00	4.552E+02	5.588E-05	3.869E-05	0.6923
2.000E-02	5.067E+02	3.858E+00	5.106E+02	6.623E-05	4.822E-05	0.7281
2.500E-02	5.526E+02	3.269E+00	5.558E+02	7.560E-05	5.701E-05	0.7542
3.000E-02	5.905E+02	2.848E+00	5.934E+02	8.430E-05	6.527E-05	0.7743
4.000E-02	6.483E+02	2.282E+00	6.506E+02	1.003E-04	8.069E-05	0.8041
5.000E-02	6.877E+02	1.917E+00	6.897E+02	1.152E-04	9.513E-05	0.8256
6.000E-02	7.132E+02	1.659E+00	7.149E+02	1.295E-04	1.090E-04	0.8420
7.000E-02	7.278E+02	1.466E+00	7.293E+02	1.433E-04	1.226E-04	0.8553
8.000E-02	7.341E+02	1.316E+00	7.355E+02	1.569E-04	1.360E-04	0.8664
9.000E-02	7.340E+02	1.196E+00	7.352E+02	1.705E-04	1.493E-04	0.8758
1.000E-01	7.290E+02	1.098E+00	7.301E+02	1.842E-04	1.628E-04	0.8839
2.000E-01	5.922E+02	6.183E-01	5.928E+02	3.349E-04	3.121E-04	0.9320
2.500E-01	5.278E+02	5.124E-01	5.284E+02	4.244E-04	4.010E-04	0.9450
3.000E-01	4.763E+02	4.390E-01	4.767E+02	5.241E-04	5.002E-04	0.9544
4.000E-01	4.012E+02	3.435E-01	4.015E+02	7.538E-04	7.287E-04	0.9668
4.500E-01	3.733E+02	3.105E-01	3.736E+02	8.830E-04	8.573E-04	0.9710
5.000E-01	3.498E+02	2.836E-01	3.501E+02	1.021E-03	9.951E-04	0.9743
5.500E-01	3.297E+02	2.612E-01	3.300E+02	1.169E-03	1.142E-03	0.9770
6.000E-01	3.121E+02	2.423E-01	3.123E+02	1.324E-03	1.297E-03	0.9793
6.500E-01	2.964E+02	2.261E-01	2.967E+02	1.489E-03	1.461E-03	0.9812
7.000E-01	2.824E+02	2.119E-01	2.826E+02	1.661E-03	1.633E-03	0.9827
7.500E-01	2.699E+02	1.995E-01	2.701E+02	1.842E-03	1.813E-03	0.9841
8.000E-01	2.587E+02	1.885E-01	2.589E+02	2.032E-03	2.002E-03	0.9852
8.500E-01	2.485E+02	1.787E-01	2.486E+02	2.229E-03	2.198E-03	0.9862
9.000E-01	2.391E+02	1.699E-01	2.393E+02	2.434E-03	2.402E-03	0.9871
9.500E-01	2.306E+02	1.620E-01	2.308E+02	2.646E-03	2.614E-03	0.9879
1.000E+00	2.227E+02	1.548E-01	2.229E+02	2.867E-03	2.834E-03	0.9886
1.250E+00	1.911E+02	1.270E-01	1.912E+02	4.082E-03	4.046E-03	0.9910
1.500E+00	1.682E+02	1.080E-01	1.683E+02	5.479E-03	5.438E-03	0.9926
1.750E+00	1.508E+02	9.404E-02	1.509E+02	7.051E-03	7.006E-03	0.9936
2.000E+00	1.370E+02	8.340E-02	1.371E+02	8.792E-03	8.742E-03	0.9943
2.250E+00	1.258E+02	7.500E-02	1.258E+02	1.070E-02	1.064E-02	0.9949
2.500E+00	1.164E+02	6.818E-02	1.165E+02	1.276E-02	1.270E-02	0.9953
2.750E+00	1.085E+02	6.254E-02	1.086E+02	1.499E-02	1.492E-02	0.9956
3.000E+00	1.017E+02	5.778E-02	1.018E+02	1.737E-02	1.730E-02	0.9959
3.500E+00	9.063E+01	5.021E-02	9.068E+01	2.258E-02	2.250E-02	0.9963
4.000E+00	8.192E+01	4.444E-02	8.197E+01	2.839E-02	2.829E-02	0.9966
4.500E+00	7.488E+01	3.989E-02	7.492E+01	3.478E-02	3.466E-02	0.9968
5.000E+00	6.905E+01	3.621E-02	6.909E+01	4.173E-02	4.161E-02	0.9969
5.500E+00	6.414E+01	3.317E-02	6.417E+01	4.925E-02	4.910E-02	0.9971
6.000E+00	5.994E+01	3.061E-02	5.997E+01	5.731E-02	5.715E-02	0.9972
6.500E+00	5.630E+01	2.843E-02	5.633E+01	6.592E-02	6.574E-02	0.9973
7.000E+00	5.312E+01	2.654E-02	5.315E+01	7.506E-02	7.486E-02	0.9973
7.500E+00	5.031E+01	2.490E-02	5.033E+01	8.474E-02	8.452E-02	0.9974
8.000E+00	4.781E+01	2.345E-02	4.783E+01	9.493E-02	9.469E-02	0.9975

موقع الفريد في الفيزياء

8.500E+00	4.557E+01	2.217E-02	4.559E+01	1.056E-01	1.054E-01	0.9975
9.000E+00	4.355E+01	2.102E-02	4.357E+01	1.169E-01	1.166E-01	0.9976
9.500E+00	4.171E+01	1.999E-02	4.173E+01	1.286E-01	1.283E-01	0.9976
1.000E+01	4.004E+01	1.905E-02	4.006E+01	1.408E-01	1.405E-01	0.9976
1.250E+01	3.349E+01	1.547E-02	3.351E+01	2.094E-01	2.089E-01	0.9978
1.500E+01	2.892E+01	1.304E-02	2.894E+01	2.899E-01	2.893E-01	0.9979
1.750E+01	2.554E+01	1.128E-02	2.555E+01	3.820E-01	3.813E-01	0.9979
2.000E+01	2.293E+01	9.953E-03	2.294E+01	4.855E-01	4.845E-01	0.9980
2.500E+01	1.914E+01	8.066E-03	1.915E+01	7.252E-01	7.238E-01	0.9981
2.750E+01	1.773E+01	7.372E-03	1.773E+01	8.609E-01	8.593E-01	0.9981
3.000E+01	1.652E+01	6.790E-03	1.653E+01	1.007E+00	1.005E+00	0.9981
3.500E+01	1.460E+01	5.870E-03	1.460E+01	1.330E+00	1.327E+00	0.9982
4.000E+01	1.312E+01	5.173E-03	1.312E+01	1.691E+00	1.688E+00	0.9982
4.500E+01	1.194E+01	4.627E-03	1.194E+01	2.091E+00	2.088E+00	0.9983
5.000E+01	1.098E+01	4.187E-03	1.099E+01	2.528E+00	2.524E+00	0.9983
5.500E+01	1.019E+01	3.826E-03	1.019E+01	3.001E+00	2.996E+00	0.9983
6.000E+01	9.514E+00	3.523E-03	9.517E+00	3.509E+00	3.504E+00	0.9983
6.500E+01	8.938E+00	3.265E-03	8.942E+00	4.052E+00	4.045E+00	0.9984
7.000E+01	8.440E+00	3.043E-03	8.443E+00	4.628E+00	4.620E+00	0.9984
7.500E+01	8.003E+00	2.850E-03	8.006E+00	5.236E+00	5.228E+00	0.9984
8.000E+01	7.618E+00	2.681E-03	7.620E+00	5.876E+00	5.867E+00	0.9984
8.500E+01	7.275E+00	2.531E-03	7.277E+00	6.548E+00	6.538E+00	0.9984
9.000E+01	6.968E+00	2.397E-03	6.970E+00	7.250E+00	7.239E+00	0.9984
9.500E+01	6.691E+00	2.277E-03	6.693E+00	7.983E+00	7.970E+00	0.9985
1.000E+02	6.441E+00	2.169E-03	6.443E+00	8.744E+00	8.731E+00	0.9985
1.250E+02	5.474E+00	1.754E-03	5.475E+00	1.297E+01	1.295E+01	0.9985
1.500E+02	4.815E+00	1.475E-03	4.816E+00	1.786E+01	1.783E+01	0.9986
1.750E+02	4.337E+00	1.274E-03	4.338E+00	2.334E+01	2.330E+01	0.9986
2.000E+02	3.975E+00	1.122E-03	3.976E+00	2.937E+01	2.933E+01	0.9986
2.250E+02	3.690E+00	1.003E-03	3.691E+00	3.590E+01	3.585E+01	0.9987
2.500E+02	3.462E+00	9.075E-04	3.462E+00	4.290E+01	4.284E+01	0.9987
2.750E+02	3.274E+00	8.289E-04	3.275E+00	5.033E+01	5.026E+01	0.9987
3.000E+02	3.117E+00	7.631E-04	3.118E+00	5.816E+01	5.809E+01	0.9987
3.500E+02	2.870E+00	6.591E-04	2.871E+00	7.490E+01	7.481E+01	0.9988
4.000E+02	2.686E+00	5.806E-04	2.687E+00	9.293E+01	9.282E+01	0.9988
4.500E+02	2.544E+00	5.191E-04	2.544E+00	1.121E+02	1.119E+02	0.9989
5.000E+02	2.431E+00	4.697E-04	2.431E+00	1.322E+02	1.320E+02	0.9989
5.500E+02	2.340E+00	4.291E-04	2.340E+00	1.532E+02	1.530E+02	0.9989
6.000E+02	2.265E+00	3.951E-04	2.266E+00	1.749E+02	1.747E+02	0.9990
6.500E+02	2.203E+00	3.663E-04	2.203E+00	1.973E+02	1.971E+02	0.9990
7.000E+02	2.151E+00	3.414E-04	2.151E+00	2.203E+02	2.200E+02	0.9990
7.500E+02	2.107E+00	3.198E-04	2.107E+00	2.437E+02	2.435E+02	0.9990
8.000E+02	2.069E+00	3.009E-04	2.069E+00	2.677E+02	2.674E+02	0.9990
8.500E+02	2.036E+00	2.841E-04	2.037E+00	2.921E+02	2.918E+02	0.9991
9.000E+02	2.008E+00	2.691E-04	2.008E+00	3.168E+02	3.165E+02	0.9991
9.500E+02	1.984E+00	2.557E-04	1.984E+00	3.418E+02	3.415E+02	0.9991
1.000E+03	1.962E+00	2.436E-04	1.963E+00	3.672E+02	3.668E+02	0.9991
1.500E+03	1.850E+00	1.661E-04	1.850E+00	6.311E+02	6.306E+02	0.9992
2.000E+03	1.820E+00	1.267E-04	1.820E+00	9.041E+02	9.035E+02	0.9993
2.500E+03	1.818E+00	1.027E-04	1.818E+00	1.179E+03	1.178E+03	0.9994
3.000E+03	1.828E+00	8.655E-05	1.828E+00	1.454E+03	1.453E+03	0.9994
4.000E+03	1.861E+00	6.608E-05	1.861E+00	1.996E+03	1.995E+03	0.9995
5.000E+03	1.898E+00	5.362E-05	1.898E+00	2.528E+03	2.527E+03	0.9996
6.000E+03	1.933E+00	4.520E-05	1.934E+00	3.050E+03	3.049E+03	0.9996
7.000E+03	1.967E+00	3.913E-05	1.967E+00	3.563E+03	3.561E+03	0.9997
8.000E+03	1.998E+00	3.453E-05	1.998E+00	4.067E+03	4.066E+03	0.9997
9.000E+03	2.026E+00	3.093E-05	2.026E+00	4.564E+03	4.563E+03	0.9997
1.000E+04	2.052E+00	2.803E-05	2.052E+00	5.054E+03	5.053E+03	0.9997

موقع ألفريد في الفيزياء

BONE, COMPACT (ICRU)						
Energy MeV	Electron stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Nuclear stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Projected Range (g/cm ²)	Detour Factor
1.000E-03	1.416E+02	3.228E+01	1.738E+02	7.040E-06	2.977E-06	0.4228
2.000E-03	2.002E+02	2.248E+01	2.227E+02	1.207E-05	5.934E-06	0.4916
3.000E-03	2.452E+02	1.776E+01	2.629E+02	1.619E-05	8.722E-06	0.5387
4.000E-03	2.813E+02	1.488E+01	2.962E+02	1.977E-05	1.134E-05	0.5740
5.000E-03	3.133E+02	1.290E+01	3.262E+02	2.298E-05	1.383E-05	0.6018
6.000E-03	3.422E+02	1.144E+01	3.537E+02	2.592E-05	1.619E-05	0.6246
7.000E-03	3.688E+02	1.031E+01	3.791E+02	2.865E-05	1.844E-05	0.6437
8.000E-03	3.931E+02	9.414E+00	4.025E+02	3.121E-05	2.060E-05	0.6600
9.000E-03	4.156E+02	8.675E+00	4.243E+02	3.363E-05	2.268E-05	0.6743
1.000E-02	4.368E+02	8.056E+00	4.449E+02	3.593E-05	2.468E-05	0.6869
2.000E-02	5.753E+02	4.856E+00	5.802E+02	5.533E-05	4.232E-05	0.7648
3.000E-02	6.621E+02	3.562E+00	6.657E+02	7.133E-05	5.744E-05	0.8053
4.000E-02	7.210E+02	2.844E+00	7.239E+02	8.569E-05	7.125E-05	0.8314
5.000E-02	7.609E+02	2.382E+00	7.633E+02	9.912E-05	8.427E-05	0.8502
6.000E-02	7.852E+02	2.058E+00	7.872E+02	1.120E-04	9.683E-05	0.8646
7.000E-02	7.976E+02	1.817E+00	7.994E+02	1.246E-04	1.092E-04	0.8761
8.000E-02	8.011E+02	1.629E+00	8.027E+02	1.371E-04	1.214E-04	0.8858
9.000E-02	7.979E+02	1.479E+00	7.994E+02	1.495E-04	1.337E-04	0.8940
1.000E-01	7.899E+02	1.356E+00	7.912E+02	1.621E-04	1.461E-04	0.9011
1.250E-01	7.564E+02	1.128E+00	7.575E+02	1.944E-04	1.779E-04	0.9155
1.500E-01	7.145E+02	9.684E-01	7.154E+02	2.283E-04	2.115E-04	0.9265
1.750E-01	6.714E+02	8.508E-01	6.722E+02	2.643E-04	2.472E-04	0.9353
2.000E-01	6.305E+02	7.602E-01	6.312E+02	3.027E-04	2.853E-04	0.9425
2.250E-01	5.932E+02	6.880E-01	5.939E+02	3.436E-04	3.259E-04	0.9485
2.500E-01	5.597E+02	6.291E-01	5.604E+02	3.869E-04	3.689E-04	0.9535
2.750E-01	5.300E+02	5.797E-01	5.306E+02	4.328E-04	4.145E-04	0.9578
3.000E-01	5.035E+02	5.377E-01	5.041E+02	4.812E-04	4.626E-04	0.9614
3.500E-01	4.590E+02	4.704E-01	4.595E+02	5.852E-04	5.661E-04	0.9673
4.000E-01	4.230E+02	4.187E-01	4.234E+02	6.987E-04	6.789E-04	0.9718
4.500E-01	3.933E+02	3.778E-01	3.937E+02	8.212E-04	8.009E-04	0.9752
5.000E-01	3.683E+02	3.445E-01	3.687E+02	9.526E-04	9.316E-04	0.9780
5.500E-01	3.469E+02	3.169E-01	3.472E+02	1.092E-03	1.071E-03	0.9802
6.000E-01	3.281E+02	2.935E-01	3.284E+02	1.241E-03	1.218E-03	0.9821
6.500E-01	3.116E+02	2.735E-01	3.119E+02	1.397E-03	1.374E-03	0.9836
7.000E-01	2.969E+02	2.561E-01	2.972E+02	1.561E-03	1.538E-03	0.9849
7.500E-01	2.837E+02	2.409E-01	2.840E+02	1.733E-03	1.709E-03	0.9860
8.000E-01	2.718E+02	2.275E-01	2.720E+02	1.913E-03	1.888E-03	0.9870
8.500E-01	2.610E+02	2.155E-01	2.612E+02	2.101E-03	2.075E-03	0.9878
9.000E-01	2.511E+02	2.048E-01	2.513E+02	2.296E-03	2.270E-03	0.9885
9.500E-01	2.420E+02	1.952E-01	2.422E+02	2.499E-03	2.472E-03	0.9891
1.000E+00	2.337E+02	1.864E-01	2.339E+02	2.709E-03	2.681E-03	0.9897
1.250E+00	2.003E+02	1.526E-01	2.005E+02	3.867E-03	3.835E-03	0.9917
1.500E+00	1.763E+02	1.295E-01	1.764E+02	5.200E-03	5.163E-03	0.9930
1.750E+00	1.580E+02	1.127E-01	1.581E+02	6.699E-03	6.658E-03	0.9938
2.000E+00	1.435E+02	9.986E-02	1.436E+02	8.361E-03	8.315E-03	0.9945
2.250E+00	1.317E+02	8.973E-02	1.318E+02	1.018E-02	1.013E-02	0.9949
2.500E+00	1.219E+02	8.153E-02	1.220E+02	1.215E-02	1.210E-02	0.9953
2.750E+00	1.136E+02	7.474E-02	1.137E+02	1.428E-02	1.422E-02	0.9955
3.000E+00	1.065E+02	6.903E-02	1.065E+02	1.655E-02	1.648E-02	0.9958
3.500E+00	9.484E+01	5.994E-02	9.490E+01	2.153E-02	2.145E-02	0.9961
4.000E+00	8.571E+01	5.303E-02	8.576E+01	2.708E-02	2.699E-02	0.9963
4.500E+00	7.834E+01	4.759E-02	7.838E+01	3.319E-02	3.308E-02	0.9965
5.000E+00	7.224E+01	4.318E-02	7.228E+01	3.984E-02	3.971E-02	0.9967
5.500E+00	6.711E+01	3.955E-02	6.715E+01	4.702E-02	4.687E-02	0.9968
6.000E+00	6.272E+01	3.649E-02	6.276E+01	5.473E-02	5.456E-02	0.9969
6.500E+00	5.892E+01	3.388E-02	5.896E+01	6.295E-02	6.276E-02	0.9970
7.000E+00	5.560E+01	3.163E-02	5.563E+01	7.169E-02	7.148E-02	0.9971
7.500E+00	5.266E+01	2.967E-02	5.269E+01	8.093E-02	8.069E-02	0.9971

موقع الفريد في الفيزياء

8.000E+00	5.005E+01	2.795E-02	5.008E+01	9.067E-02	9.041E-02	0.9972
8.500E+00	4.771E+01	2.641E-02	4.774E+01	1.009E-01	1.006E-01	0.9972
9.000E+00	4.560E+01	2.505E-02	4.562E+01	1.116E-01	1.113E-01	0.9973
9.500E+00	4.368E+01	2.382E-02	4.371E+01	1.228E-01	1.225E-01	0.9973
1.000E+01	4.194E+01	2.271E-02	4.196E+01	1.345E-01	1.341E-01	0.9973
1.250E+01	3.509E+01	1.844E-02	3.511E+01	1.999E-01	1.994E-01	0.9975
1.500E+01	3.032E+01	1.554E-02	3.033E+01	2.768E-01	2.761E-01	0.9976
1.750E+01	2.678E+01	1.345E-02	2.679E+01	3.647E-01	3.638E-01	0.9976
2.000E+01	2.405E+01	1.187E-02	2.406E+01	4.633E-01	4.622E-01	0.9977
2.500E+01	2.009E+01	9.619E-03	2.010E+01	6.917E-01	6.902E-01	0.9978
2.750E+01	1.861E+01	8.793E-03	1.861E+01	8.211E-01	8.193E-01	0.9978
3.000E+01	1.735E+01	8.100E-03	1.736E+01	9.602E-01	9.582E-01	0.9978
3.500E+01	1.533E+01	7.003E-03	1.534E+01	1.267E+00	1.265E+00	0.9979
4.000E+01	1.378E+01	6.173E-03	1.378E+01	1.612E+00	1.609E+00	0.9979
4.500E+01	1.254E+01	5.522E-03	1.255E+01	1.993E+00	1.989E+00	0.9980
5.000E+01	1.154E+01	4.998E-03	1.155E+01	2.408E+00	2.404E+00	0.9980
5.500E+01	1.071E+01	4.567E-03	1.071E+01	2.858E+00	2.853E+00	0.9980
6.000E+01	1.000E+01	4.205E-03	1.001E+01	3.342E+00	3.335E+00	0.9981
6.500E+01	9.398E+00	3.898E-03	9.401E+00	3.858E+00	3.850E+00	0.9981
7.000E+01	8.874E+00	3.633E-03	8.878E+00	4.405E+00	4.397E+00	0.9981
7.500E+01	8.416E+00	3.403E-03	8.420E+00	4.984E+00	4.974E+00	0.9981
8.000E+01	8.012E+00	3.201E-03	8.015E+00	5.593E+00	5.582E+00	0.9981
8.500E+01	7.652E+00	3.022E-03	7.655E+00	6.231E+00	6.220E+00	0.9982
9.000E+01	7.329E+00	2.862E-03	7.332E+00	6.899E+00	6.886E+00	0.9982
9.500E+01	7.039E+00	2.719E-03	7.042E+00	7.595E+00	7.581E+00	0.9982
1.000E+02	6.776E+00	2.590E-03	6.778E+00	8.319E+00	8.304E+00	0.9982
1.250E+02	5.760E+00	2.095E-03	5.762E+00	1.234E+01	1.232E+01	0.9983
1.500E+02	5.068E+00	1.762E-03	5.070E+00	1.698E+01	1.695E+01	0.9983
1.750E+02	4.566E+00	1.522E-03	4.567E+00	2.218E+01	2.215E+01	0.9984
2.000E+02	4.185E+00	1.340E-03	4.186E+00	2.791E+01	2.786E+01	0.9984
2.250E+02	3.886E+00	1.198E-03	3.887E+00	3.411E+01	3.406E+01	0.9984
2.500E+02	3.645E+00	1.084E-03	3.646E+00	4.076E+01	4.070E+01	0.9985
2.750E+02	3.448E+00	9.902E-04	3.449E+00	4.782E+01	4.774E+01	0.9985
3.000E+02	3.283E+00	9.116E-04	3.284E+00	5.525E+01	5.517E+01	0.9985
3.500E+02	3.024E+00	7.874E-04	3.024E+00	7.115E+01	7.104E+01	0.9986
4.000E+02	2.830E+00	6.936E-04	2.830E+00	8.826E+01	8.814E+01	0.9986
4.500E+02	2.680E+00	6.202E-04	2.681E+00	1.064E+02	1.063E+02	0.9987
5.000E+02	2.561E+00	5.612E-04	2.562E+00	1.255E+02	1.254E+02	0.9987
5.500E+02	2.466E+00	5.126E-04	2.466E+00	1.454E+02	1.452E+02	0.9987
6.000E+02	2.385E+00	4.720E-04	2.386E+00	1.660E+02	1.658E+02	0.9988
6.500E+02	2.318E+00	4.375E-04	2.318E+00	1.873E+02	1.871E+02	0.9988
7.000E+02	2.261E+00	4.079E-04	2.261E+00	2.092E+02	2.089E+02	0.9988
7.500E+02	2.212E+00	3.820E-04	2.213E+00	2.315E+02	2.312E+02	0.9988
8.000E+02	2.171E+00	3.594E-04	2.171E+00	2.543E+02	2.540E+02	0.9989
8.500E+02	2.135E+00	3.393E-04	2.135E+00	2.776E+02	2.772E+02	0.9989
9.000E+02	2.103E+00	3.215E-04	2.103E+00	3.012E+02	3.008E+02	0.9989
9.500E+02	2.076E+00	3.054E-04	2.076E+00	3.251E+02	3.247E+02	0.9989
1.000E+03	2.051E+00	2.910E-04	2.052E+00	3.493E+02	3.490E+02	0.9990
1.500E+03	1.916E+00	1.984E-04	1.916E+00	6.030E+02	6.025E+02	0.9991
2.000E+03	1.869E+00	1.513E-04	1.869E+00	8.677E+02	8.670E+02	0.9992
2.500E+03	1.854E+00	1.227E-04	1.854E+00	1.137E+03	1.136E+03	0.9993
3.000E+03	1.852E+00	1.033E-04	1.852E+00	1.406E+03	1.406E+03	0.9993
4.000E+03	1.865E+00	7.889E-05	1.865E+00	1.945E+03	1.944E+03	0.9994
5.000E+03	1.885E+00	6.400E-05	1.885E+00	2.478E+03	2.477E+03	0.9995
6.000E+03	1.907E+00	5.396E-05	1.907E+00	3.005E+03	3.004E+03	0.9995
7.000E+03	1.927E+00	4.670E-05	1.927E+00	3.527E+03	3.526E+03	0.9996
8.000E+03	1.947E+00	4.122E-05	1.947E+00	4.043E+03	4.042E+03	0.9996
9.000E+03	1.965E+00	3.692E-05	1.965E+00	4.554E+03	4.553E+03	0.9996
1.000E+04	1.982E+00	3.345E-05	1.982E+00	5.061E+03	5.059E+03	0.9997

موقع الفريد في الفيزياء

LEAD						
Energy MeV	Electron stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Nuclear stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Projected Range (g/cm ²)	Detour Factor
1.000E-03	1.540E+01	8.290E-01	1.623E+01	1.079E-04	1.006E-05	0.0932
2.000E-03	2.178E+01	8.554E-01	2.264E+01	1.592E-04	1.843E-05	0.1158
3.000E-03	2.668E+01	8.508E-01	2.753E+01	1.990E-04	2.658E-05	0.1335
4.000E-03	3.081E+01	8.374E-01	3.164E+01	2.328E-04	3.460E-05	0.1486
5.000E-03	3.444E+01	8.208E-01	3.526E+01	2.627E-04	4.255E-05	0.1620
6.000E-03	3.773E+01	8.033E-01	3.853E+01	2.898E-04	5.045E-05	0.1741
7.000E-03	4.075E+01	7.856E-01	4.154E+01	3.148E-04	5.830E-05	0.1852
8.000E-03	4.357E+01	7.682E-01	4.433E+01	3.381E-04	6.611E-05	0.1955
9.000E-03	4.621E+01	7.514E-01	4.696E+01	3.600E-04	7.387E-05	0.2052
1.000E-02	4.871E+01	7.352E-01	4.944E+01	3.807E-04	8.160E-05	0.2143
2.000E-02	6.621E+01	6.075E-01	6.682E+01	5.523E-04	1.581E-04	0.2863
3.000E-02	7.885E+01	5.230E-01	7.937E+01	6.889E-04	2.325E-04	0.3376
4.000E-02	8.884E+01	4.626E-01	8.930E+01	8.074E-04	3.048E-04	0.3776
5.000E-02	9.702E+01	4.169E-01	9.744E+01	9.144E-04	3.752E-04	0.4104
6.000E-02	1.038E+02	3.807E-01	1.042E+02	1.014E-03	4.440E-04	0.4381
7.000E-02	1.095E+02	3.513E-01	1.098E+02	1.107E-03	5.115E-04	0.4621
8.000E-02	1.141E+02	3.268E-01	1.145E+02	1.196E-03	5.781E-04	0.4833
9.000E-02	1.180E+02	3.060E-01	1.183E+02	1.282E-03	6.438E-04	0.5022
1.000E-01	1.211E+02	2.880E-01	1.214E+02	1.365E-03	7.091E-04	0.5193
1.250E-01	1.261E+02	2.522E-01	1.264E+02	1.567E-03	8.712E-04	0.5561
1.500E-01	1.281E+02	2.253E-01	1.283E+02	1.763E-03	1.034E-03	0.5865
1.750E-01	1.279E+02	2.042E-01	1.281E+02	1.957E-03	1.199E-03	0.6126
2.000E-01	1.263E+02	1.872E-01	1.265E+02	2.154E-03	1.368E-03	0.6353
2.250E-01	1.236E+02	1.730E-01	1.238E+02	2.353E-03	1.543E-03	0.6555
2.500E-01	1.204E+02	1.611E-01	1.206E+02	2.558E-03	1.723E-03	0.6736
2.750E-01	1.169E+02	1.509E-01	1.171E+02	2.768E-03	1.910E-03	0.6900
3.000E-01	1.133E+02	1.421E-01	1.135E+02	2.985E-03	2.104E-03	0.7048
3.500E-01	1.064E+02	1.274E-01	1.065E+02	3.440E-03	2.514E-03	0.7309
4.000E-01	9.998E+01	1.158E-01	1.001E+02	3.925E-03	2.955E-03	0.7529
4.500E-01	9.437E+01	1.063E-01	9.448E+01	4.439E-03	3.425E-03	0.7716
5.000E-01	8.950E+01	9.838E-02	8.960E+01	4.983E-03	3.925E-03	0.7876
5.500E-01	8.518E+01	9.166E-02	8.528E+01	5.555E-03	4.452E-03	0.8015
6.000E-01	8.137E+01	8.589E-02	8.146E+01	6.155E-03	5.007E-03	0.8135
6.500E-01	7.801E+01	8.086E-02	7.810E+01	6.782E-03	5.589E-03	0.8241
7.000E-01	7.505E+01	7.644E-02	7.512E+01	7.435E-03	6.196E-03	0.8333
7.500E-01	7.242E+01	7.253E-02	7.249E+01	8.113E-03	6.827E-03	0.8415
8.000E-01	7.008E+01	6.903E-02	7.015E+01	8.814E-03	7.481E-03	0.8488
8.500E-01	6.799E+01	6.588E-02	6.806E+01	9.538E-03	8.157E-03	0.8552
9.000E-01	6.612E+01	6.303E-02	6.619E+01	1.028E-02	8.854E-03	0.8611
9.500E-01	6.444E+01	6.044E-02	6.450E+01	1.105E-02	9.571E-03	0.8663
1.000E+00	6.292E+01	5.807E-02	6.298E+01	1.183E-02	1.031E-02	0.8710
1.250E+00	5.688E+01	4.873E-02	5.693E+01	1.602E-02	1.424E-02	0.8893
1.500E+00	5.222E+01	4.216E-02	5.226E+01	2.061E-02	1.858E-02	0.9016
1.750E+00	4.846E+01	3.725E-02	4.850E+01	2.558E-02	2.329E-02	0.9105
2.000E+00	4.534E+01	3.344E-02	4.537E+01	3.091E-02	2.836E-02	0.9174
2.250E+00	4.269E+01	3.038E-02	4.272E+01	3.659E-02	3.377E-02	0.9228
2.500E+00	4.040E+01	2.788E-02	4.043E+01	4.261E-02	3.951E-02	0.9272
2.750E+00	3.840E+01	2.578E-02	3.843E+01	4.896E-02	4.557E-02	0.9308
3.000E+00	3.663E+01	2.400E-02	3.666E+01	5.562E-02	5.195E-02	0.9339
3.500E+00	3.364E+01	2.112E-02	3.366E+01	6.988E-02	6.561E-02	0.9389
4.000E+00	3.118E+01	1.890E-02	3.120E+01	8.532E-02	8.043E-02	0.9427
4.500E+00	2.913E+01	1.713E-02	2.914E+01	1.019E-01	9.639E-02	0.9458
5.000E+00	2.737E+01	1.568E-02	2.739E+01	1.196E-01	1.134E-01	0.9483
5.500E+00	2.586E+01	1.447E-02	2.587E+01	1.384E-01	1.316E-01	0.9504
6.000E+00	2.453E+01	1.344E-02	2.454E+01	1.583E-01	1.507E-01	0.9522
6.500E+00	2.336E+01	1.256E-02	2.337E+01	1.792E-01	1.709E-01	0.9538
7.000E+00	2.231E+01	1.180E-02	2.232E+01	2.011E-01	1.920E-01	0.9552
7.500E+00	2.137E+01	1.113E-02	2.138E+01	2.239E-01	2.142E-01	0.9564

موقع الفريد في الفيزياء

8.000E+00	2.051E+01	1.053E-02	2.052E+01	2.478E-01	2.373E-01	0.9575
8.500E+00	1.974E+01	9.999E-03	1.975E+01	2.727E-01	2.613E-01	0.9584
9.000E+00	1.903E+01	9.521E-03	1.904E+01	2.985E-01	2.863E-01	0.9593
9.500E+00	1.838E+01	9.090E-03	1.839E+01	3.252E-01	3.122E-01	0.9601
1.000E+01	1.778E+01	8.698E-03	1.779E+01	3.528E-01	3.390E-01	0.9608
1.250E+01	1.535E+01	7.176E-03	1.536E+01	5.046E-01	4.863E-01	0.9638
1.500E+01	1.359E+01	6.127E-03	1.359E+01	6.780E-01	6.548E-01	0.9658
1.750E+01	1.223E+01	5.359E-03	1.224E+01	8.722E-01	8.438E-01	0.9674
2.000E+01	1.116E+01	4.770E-03	1.116E+01	1.086E+00	1.052E+00	0.9687
2.500E+01	9.550E+00	3.923E-03	9.554E+00	1.572E+00	1.526E+00	0.9706
2.750E+01	8.929E+00	3.608E-03	8.932E+00	1.843E+00	1.790E+00	0.9713
3.000E+01	8.393E+00	3.342E-03	8.396E+00	2.132E+00	2.072E+00	0.9720
3.500E+01	7.514E+00	2.916E-03	7.516E+00	2.763E+00	2.688E+00	0.9730
4.000E+01	6.822E+00	2.591E-03	6.825E+00	3.462E+00	3.371E+00	0.9739
4.500E+01	6.264E+00	2.334E-03	6.267E+00	4.227E+00	4.120E+00	0.9746
5.000E+01	5.804E+00	2.125E-03	5.806E+00	5.057E+00	4.931E+00	0.9752
5.500E+01	5.418E+00	1.952E-03	5.420E+00	5.949E+00	5.804E+00	0.9757
6.000E+01	5.088E+00	1.806E-03	5.090E+00	6.901E+00	6.737E+00	0.9761
6.500E+01	4.804E+00	1.681E-03	4.806E+00	7.913E+00	7.727E+00	0.9765
7.000E+01	4.557E+00	1.573E-03	4.558E+00	8.982E+00	8.774E+00	0.9769
7.500E+01	4.339E+00	1.479E-03	4.340E+00	1.011E+01	9.876E+00	0.9772
8.000E+01	4.146E+00	1.396E-03	4.147E+00	1.129E+01	1.103E+01	0.9775
8.500E+01	3.973E+00	1.322E-03	3.974E+00	1.252E+01	1.224E+01	0.9778
9.000E+01	3.818E+00	1.255E-03	3.819E+00	1.380E+01	1.350E+01	0.9781
9.500E+01	3.678E+00	1.196E-03	3.679E+00	1.514E+01	1.481E+01	0.9783
1.000E+02	3.551E+00	1.142E-03	3.552E+00	1.652E+01	1.616E+01	0.9785
1.250E+02	3.056E+00	9.329E-04	3.057E+00	2.414E+01	2.364E+01	0.9794
1.500E+02	2.713E+00	7.905E-04	2.714E+00	3.284E+01	3.219E+01	0.9802
1.750E+02	2.462E+00	6.870E-04	2.463E+00	4.253E+01	4.171E+01	0.9808
2.000E+02	2.270E+00	6.081E-04	2.271E+00	5.312E+01	5.212E+01	0.9813
2.250E+02	2.118E+00	5.459E-04	2.119E+00	6.453E+01	6.335E+01	0.9818
2.500E+02	1.996E+00	4.957E-04	1.996E+00	7.669E+01	7.533E+01	0.9822
2.750E+02	1.895E+00	4.541E-04	1.895E+00	8.955E+01	8.799E+01	0.9826
3.000E+02	1.810E+00	4.192E-04	1.810E+00	1.031E+02	1.013E+02	0.9829
3.500E+02	1.676E+00	3.637E-04	1.677E+00	1.318E+02	1.296E+02	0.9836
4.000E+02	1.576E+00	3.215E-04	1.577E+00	1.626E+02	1.600E+02	0.9841
4.500E+02	1.499E+00	2.883E-04	1.499E+00	1.952E+02	1.921E+02	0.9846
5.000E+02	1.437E+00	2.615E-04	1.438E+00	2.292E+02	2.258E+02	0.9850
5.500E+02	1.388E+00	2.394E-04	1.388E+00	2.646E+02	2.608E+02	0.9854
6.000E+02	1.347E+00	2.209E-04	1.348E+00	3.012E+02	2.969E+02	0.9858
6.500E+02	1.314E+00	2.051E-04	1.314E+00	3.388E+02	3.341E+02	0.9862
7.000E+02	1.286E+00	1.914E-04	1.286E+00	3.773E+02	3.722E+02	0.9865
7.500E+02	1.262E+00	1.795E-04	1.262E+00	4.165E+02	4.110E+02	0.9868
8.000E+02	1.242E+00	1.691E-04	1.242E+00	4.565E+02	4.506E+02	0.9871
8.500E+02	1.224E+00	1.598E-04	1.224E+00	4.971E+02	4.908E+02	0.9873
9.000E+02	1.209E+00	1.515E-04	1.210E+00	5.382E+02	5.315E+02	0.9876
9.500E+02	1.197E+00	1.441E-04	1.197E+00	5.797E+02	5.727E+02	0.9878
1.000E+03	1.185E+00	1.374E-04	1.186E+00	6.217E+02	6.143E+02	0.9881
1.500E+03	1.130E+00	9.419E-05	1.130E+00	1.056E+03	1.045E+03	0.9898
2.000E+03	1.120E+00	7.205E-05	1.120E+00	1.501E+03	1.488E+03	0.9910
2.500E+03	1.124E+00	5.854E-05	1.124E+00	1.947E+03	1.932E+03	0.9919
3.000E+03	1.135E+00	4.940E-05	1.135E+00	2.390E+03	2.372E+03	0.9926
4.000E+03	1.161E+00	3.780E-05	1.161E+00	3.261E+03	3.241E+03	0.9936
5.000E+03	1.187E+00	3.072E-05	1.187E+00	4.113E+03	4.090E+03	0.9944
6.000E+03	1.211E+00	2.593E-05	1.211E+00	4.947E+03	4.922E+03	0.9949
7.000E+03	1.233E+00	2.247E-05	1.233E+00	5.765E+03	5.738E+03	0.9954
8.000E+03	1.253E+00	1.985E-05	1.253E+00	6.569E+03	6.541E+03	0.9957
9.000E+03	1.271E+00	1.779E-05	1.271E+00	7.361E+03	7.332E+03	0.9960
1.000E+04	1.288E+00	1.613E-05	1.288E+00	8.143E+03	8.112E+03	0.9962

موقع ألفريد في الفيزياء

WATER, LIQUID

Energy MeV	Electron stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Nuclear stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Projected Range (g/cm ²)	Detour Factor
1.000E-03	1.337E+02	4.315E+01	1.769E+02	6.319E-06	2.878E-06	0.4555
2.000E-03	1.891E+02	2.927E+01	2.184E+02	1.137E-05	5.909E-06	0.5197
3.000E-03	2.316E+02	2.281E+01	2.544E+02	1.560E-05	8.811E-06	0.5647
4.000E-03	2.675E+02	1.894E+01	2.864E+02	1.930E-05	1.155E-05	0.5986
5.000E-03	2.990E+02	1.631E+01	3.153E+02	2.262E-05	1.415E-05	0.6254
6.000E-03	3.276E+02	1.439E+01	3.420E+02	2.567E-05	1.661E-05	0.6473
7.000E-03	3.538E+02	1.292E+01	3.667E+02	2.849E-05	1.896E-05	0.6656
8.000E-03	3.782E+02	1.175E+01	3.900E+02	3.113E-05	2.121E-05	0.6813
9.000E-03	4.012E+02	1.080E+01	4.120E+02	3.363E-05	2.337E-05	0.6950
1.000E-02	4.229E+02	1.000E+01	4.329E+02	3.599E-05	2.545E-05	0.7070
2.000E-02	5.673E+02	5.939E+00	5.733E+02	5.578E-05	4.356E-05	0.7808
3.000E-02	6.628E+02	4.325E+00	6.671E+02	7.187E-05	5.883E-05	0.8187
4.000E-02	7.290E+02	3.437E+00	7.324E+02	8.613E-05	7.259E-05	0.8429
5.000E-02	7.740E+02	2.870E+00	7.768E+02	9.935E-05	8.547E-05	0.8602
6.000E-02	8.026E+02	2.473E+00	8.050E+02	1.120E-04	9.782E-05	0.8735
7.000E-02	8.183E+02	2.178E+00	8.205E+02	1.243E-04	1.099E-04	0.8842
8.000E-02	8.241E+02	1.951E+00	8.260E+02	1.364E-04	1.218E-04	0.8931
9.000E-02	8.222E+02	1.769E+00	8.239E+02	1.485E-04	1.338E-04	0.9007
1.000E-01	8.145E+02	1.620E+00	8.161E+02	1.607E-04	1.458E-04	0.9073
1.250E-01	7.801E+02	1.343E+00	7.814E+02	1.920E-04	1.767E-04	0.9207
1.500E-01	7.360E+02	1.152E+00	7.371E+02	2.249E-04	2.094E-04	0.9310
1.750E-01	6.959E+02	1.010E+00	6.969E+02	2.598E-04	2.440E-04	0.9393
2.000E-01	6.604E+02	9.016E-01	6.613E+02	2.966E-04	2.806E-04	0.9460
2.250E-01	6.286E+02	8.152E-01	6.294E+02	3.354E-04	3.191E-04	0.9515
2.500E-01	5.999E+02	7.447E-01	6.006E+02	3.761E-04	3.596E-04	0.9562
2.750E-01	5.737E+02	6.855E-01	5.744E+02	4.186E-04	4.019E-04	0.9601
3.000E-01	5.497E+02	6.351E-01	5.504E+02	4.631E-04	4.462E-04	0.9635
3.500E-01	5.075E+02	5.545E-01	5.080E+02	5.577E-04	5.404E-04	0.9689
4.000E-01	4.714E+02	4.928E-01	4.719E+02	6.599E-04	6.422E-04	0.9731
4.500E-01	4.401E+02	4.439E-01	4.406E+02	7.697E-04	7.515E-04	0.9764
5.000E-01	4.128E+02	4.043E-01	4.132E+02	8.869E-04	8.683E-04	0.9790
5.500E-01	3.888E+02	3.715E-01	3.891E+02	1.012E-03	9.926E-04	0.9811
6.000E-01	3.676E+02	3.438E-01	3.680E+02	1.144E-03	1.124E-03	0.9829
6.500E-01	3.489E+02	3.201E-01	3.492E+02	1.283E-03	1.263E-03	0.9844
7.000E-01	3.322E+02	2.996E-01	3.325E+02	1.430E-03	1.410E-03	0.9857
7.500E-01	3.172E+02	2.817E-01	3.175E+02	1.584E-03	1.563E-03	0.9868
8.000E-01	3.037E+02	2.658E-01	3.039E+02	1.745E-03	1.724E-03	0.9877
8.500E-01	2.914E+02	2.516E-01	2.917E+02	1.913E-03	1.891E-03	0.9886
9.000E-01	2.803E+02	2.390E-01	2.805E+02	2.088E-03	2.066E-03	0.9893
9.500E-01	2.700E+02	2.276E-01	2.702E+02	2.270E-03	2.247E-03	0.9899
1.000E+00	2.606E+02	2.173E-01	2.608E+02	2.458E-03	2.435E-03	0.9905
1.250E+00	2.228E+02	1.775E-01	2.229E+02	3.499E-03	3.472E-03	0.9925
1.500E+00	1.955E+02	1.504E-01	1.957E+02	4.698E-03	4.669E-03	0.9938
1.750E+00	1.748E+02	1.307E-01	1.749E+02	6.052E-03	6.020E-03	0.9946
2.000E+00	1.585E+02	1.157E-01	1.586E+02	7.555E-03	7.519E-03	0.9952
2.250E+00	1.453E+02	1.038E-01	1.454E+02	9.203E-03	9.164E-03	0.9957
2.500E+00	1.343E+02	9.428E-02	1.344E+02	1.099E-02	1.095E-02	0.9960
2.750E+00	1.250E+02	8.637E-02	1.251E+02	1.292E-02	1.288E-02	0.9963
3.000E+00	1.171E+02	7.972E-02	1.172E+02	1.499E-02	1.494E-02	0.9965
3.500E+00	1.041E+02	6.916E-02	1.042E+02	1.952E-02	1.946E-02	0.9968
4.000E+00	9.398E+01	6.113E-02	9.404E+01	2.458E-02	2.451E-02	0.9971
4.500E+00	8.580E+01	5.481E-02	8.586E+01	3.015E-02	3.007E-02	0.9973
5.000E+00	7.906E+01	4.970E-02	7.911E+01	3.623E-02	3.613E-02	0.9974
5.500E+00	7.339E+01	4.549E-02	7.343E+01	4.279E-02	4.268E-02	0.9975
6.000E+00	6.854E+01	4.195E-02	6.858E+01	4.984E-02	4.972E-02	0.9976
6.500E+00	6.434E+01	3.894E-02	6.438E+01	5.737E-02	5.724E-02	0.9977
7.000E+00	6.068E+01	3.634E-02	6.071E+01	6.537E-02	6.522E-02	0.9977
7.500E+00	5.744E+01	3.407E-02	5.747E+01	7.384E-02	7.368E-02	0.9978

موقع الفريد في الفيزياء

8.000E+00	5.456E+01	3.208E-02	5.460E+01	8.277E-02	8.259E-02	0.9978
8.500E+00	5.199E+01	3.031E-02	5.202E+01	9.215E-02	9.196E-02	0.9979
9.000E+00	4.966E+01	2.873E-02	4.969E+01	1.020E-01	1.018E-01	0.9979
9.500E+00	4.756E+01	2.731E-02	4.759E+01	1.123E-01	1.120E-01	0.9979
1.000E+01	4.564E+01	2.603E-02	4.567E+01	1.230E-01	1.228E-01	0.9980
1.250E+01	3.813E+01	2.111E-02	3.815E+01	1.832E-01	1.828E-01	0.9981
1.500E+01	3.290E+01	1.778E-02	3.292E+01	2.539E-01	2.535E-01	0.9982
1.750E+01	2.904E+01	1.538E-02	2.905E+01	3.350E-01	3.344E-01	0.9982
2.000E+01	2.605E+01	1.356E-02	2.607E+01	4.260E-01	4.252E-01	0.9983
2.500E+01	2.174E+01	1.098E-02	2.175E+01	6.370E-01	6.359E-01	0.9983
2.750E+01	2.012E+01	1.003E-02	2.013E+01	7.566E-01	7.553E-01	0.9984
3.000E+01	1.875E+01	9.239E-03	1.876E+01	8.853E-01	8.839E-01	0.9984
3.500E+01	1.656E+01	7.983E-03	1.656E+01	1.170E+00	1.168E+00	0.9984
4.000E+01	1.487E+01	7.034E-03	1.488E+01	1.489E+00	1.486E+00	0.9985
4.500E+01	1.353E+01	6.290E-03	1.354E+01	1.841E+00	1.839E+00	0.9985
5.000E+01	1.244E+01	5.691E-03	1.245E+01	2.227E+00	2.224E+00	0.9985
5.500E+01	1.154E+01	5.199E-03	1.154E+01	2.644E+00	2.641E+00	0.9985
6.000E+01	1.078E+01	4.786E-03	1.078E+01	3.093E+00	3.089E+00	0.9986
6.500E+01	1.012E+01	4.435E-03	1.013E+01	3.572E+00	3.567E+00	0.9986
7.000E+01	9.555E+00	4.134E-03	9.559E+00	4.080E+00	4.075E+00	0.9986
7.500E+01	9.059E+00	3.871E-03	9.063E+00	4.618E+00	4.611E+00	0.9986
8.000E+01	8.622E+00	3.641E-03	8.625E+00	5.184E+00	5.176E+00	0.9986
8.500E+01	8.233E+00	3.437E-03	8.236E+00	5.777E+00	5.769E+00	0.9986
9.000E+01	7.884E+00	3.255E-03	7.888E+00	6.398E+00	6.389E+00	0.9986
9.500E+01	7.570E+00	3.092E-03	7.573E+00	7.045E+00	7.035E+00	0.9986
1.000E+02	7.286E+00	2.944E-03	7.289E+00	7.718E+00	7.707E+00	0.9987
1.250E+02	6.190E+00	2.381E-03	6.192E+00	1.146E+01	1.144E+01	0.9987
1.500E+02	5.443E+00	2.001E-03	5.445E+00	1.577E+01	1.576E+01	0.9987
1.750E+02	4.901E+00	1.728E-03	4.903E+00	2.062E+01	2.060E+01	0.9988
2.000E+02	4.491E+00	1.522E-03	4.492E+00	2.596E+01	2.593E+01	0.9988
2.250E+02	4.169E+00	1.361E-03	4.170E+00	3.174E+01	3.171E+01	0.9988
2.500E+02	3.910E+00	1.231E-03	3.911E+00	3.794E+01	3.790E+01	0.9989
2.750E+02	3.697E+00	1.124E-03	3.698E+00	4.452E+01	4.447E+01	0.9989
3.000E+02	3.519E+00	1.035E-03	3.520E+00	5.145E+01	5.139E+01	0.9989
3.500E+02	3.240E+00	8.936E-04	3.241E+00	6.628E+01	6.621E+01	0.9989
4.000E+02	3.031E+00	7.870E-04	3.032E+00	8.225E+01	8.217E+01	0.9990
4.500E+02	2.870E+00	7.037E-04	2.871E+00	9.921E+01	9.912E+01	0.9990
5.000E+02	2.743E+00	6.367E-04	2.743E+00	1.170E+02	1.169E+02	0.9990
5.500E+02	2.640E+00	5.816E-04	2.640E+00	1.356E+02	1.355E+02	0.9991
6.000E+02	2.555E+00	5.355E-04	2.556E+00	1.549E+02	1.547E+02	0.9991
6.500E+02	2.485E+00	4.963E-04	2.485E+00	1.747E+02	1.746E+02	0.9991
7.000E+02	2.426E+00	4.626E-04	2.426E+00	1.951E+02	1.949E+02	0.9991
7.500E+02	2.375E+00	4.333E-04	2.376E+00	2.159E+02	2.158E+02	0.9991
8.000E+02	2.333E+00	4.076E-04	2.333E+00	2.372E+02	2.370E+02	0.9992
8.500E+02	2.296E+00	3.849E-04	2.296E+00	2.588E+02	2.586E+02	0.9992
9.000E+02	2.264E+00	3.646E-04	2.264E+00	2.807E+02	2.805E+02	0.9992
9.500E+02	2.236E+00	3.464E-04	2.236E+00	3.029E+02	3.027E+02	0.9992
1.000E+03	2.211E+00	3.300E-04	2.211E+00	3.254E+02	3.252E+02	0.9992
1.500E+03	2.070E+00	2.249E-04	2.070E+00	5.605E+02	5.601E+02	0.9993
2.000E+03	2.021E+00	1.715E-04	2.021E+00	8.054E+02	8.049E+02	0.9994
2.500E+03	2.004E+00	1.390E-04	2.004E+00	1.054E+03	1.053E+03	0.9995
3.000E+03	2.001E+00	1.171E-04	2.001E+00	1.304E+03	1.303E+03	0.9995
4.000E+03	2.012E+00	8.939E-05	2.012E+00	1.802E+03	1.802E+03	0.9996
5.000E+03	2.031E+00	7.251E-05	2.031E+00	2.297E+03	2.296E+03	0.9996
6.000E+03	2.052E+00	6.112E-05	2.052E+00	2.787E+03	2.786E+03	0.9997
7.000E+03	2.072E+00	5.291E-05	2.072E+00	3.272E+03	3.271E+03	0.9997
8.000E+03	2.091E+00	4.669E-05	2.091E+00	3.752E+03	3.751E+03	0.9997
9.000E+03	2.109E+00	4.181E-05	2.109E+00	4.228E+03	4.227E+03	0.9997
1.000E+04	2.126E+00	3.788E-05	2.126E+00	4.700E+03	4.699E+03	0.9998

Stopping Powers and Range Tables for Electrons AIR, DRY (NEAR SEA LEVEL)

Energy MeV	Collision stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Radiative stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Radiation ^d Yield	D.Effect Parameter
1.000E-02	1.975E+01	3.897E-03	1.976E+01	2.884E-04	1.082E-04	0.000E+00
1.500E-02	1.444E+01	3.937E-03	1.445E+01	5.886E-04	1.506E-04	0.000E+00
2.000E-02	1.157E+01	3.954E-03	1.158E+01	9.782E-04	1.898E-04	0.000E+00
3.000E-02	8.491E+00	3.976E-03	8.495E+00	2.002E-03	2.619E-04	0.000E+00
4.000E-02	6.848E+00	3.998E-03	6.852E+00	3.322E-03	3.280E-04	0.000E+00
5.000E-02	5.818E+00	4.025E-03	5.822E+00	4.913E-03	3.900E-04	0.000E+00
6.000E-02	5.110E+00	4.057E-03	5.114E+00	6.751E-03	4.488E-04	0.000E+00
7.000E-02	4.593E+00	4.093E-03	4.597E+00	8.817E-03	5.050E-04	0.000E+00
8.000E-02	4.197E+00	4.133E-03	4.201E+00	1.110E-02	5.590E-04	0.000E+00
9.000E-02	3.885E+00	4.175E-03	3.889E+00	1.357E-02	6.112E-04	0.000E+00
1.000E-01	3.633E+00	4.222E-03	3.637E+00	1.623E-02	6.618E-04	0.000E+00
1.500E-01	2.861E+00	4.485E-03	2.865E+00	3.193E-02	8.968E-04	0.000E+00
2.000E-01	2.469E+00	4.789E-03	2.474E+00	5.082E-02	1.111E-03	0.000E+00
3.000E-01	2.084E+00	5.495E-03	2.089E+00	9.528E-02	1.502E-03	0.000E+00
4.000E-01	1.902E+00	6.311E-03	1.908E+00	1.456E-01	1.869E-03	0.000E+00
5.000E-01	1.802E+00	7.223E-03	1.809E+00	1.995E-01	2.225E-03	0.000E+00
6.000E-01	1.743E+00	8.210E-03	1.751E+00	2.558E-01	2.577E-03	0.000E+00
7.000E-01	1.706E+00	9.258E-03	1.715E+00	3.136E-01	2.930E-03	0.000E+00
8.000E-01	1.683E+00	1.036E-02	1.694E+00	3.723E-01	3.283E-03	0.000E+00
9.000E-01	1.669E+00	1.151E-02	1.681E+00	4.316E-01	3.639E-03	0.000E+00
1.000E+00	1.661E+00	1.271E-02	1.674E+00	4.912E-01	3.997E-03	0.000E+00
1.500E+00	1.661E+00	1.927E-02	1.680E+00	7.901E-01	5.836E-03	0.000E+00
2.000E+00	1.684E+00	2.656E-02	1.711E+00	1.085E+00	7.748E-03	0.000E+00
3.000E+00	1.740E+00	4.260E-02	1.783E+00	1.658E+00	1.173E-02	0.000E+00
4.000E+00	1.790E+00	5.999E-02	1.850E+00	2.208E+00	1.583E-02	0.000E+00
5.000E+00	1.833E+00	7.838E-02	1.911E+00	2.740E+00	2.001E-02	0.000E+00
6.000E+00	1.870E+00	9.754E-02	1.967E+00	3.255E+00	2.422E-02	0.000E+00
7.000E+00	1.902E+00	1.173E-01	2.020E+00	3.757E+00	2.846E-02	0.000E+00
8.000E+00	1.931E+00	1.376E-01	2.068E+00	4.246E+00	3.269E-02	0.000E+00
9.000E+00	1.956E+00	1.584E-01	2.115E+00	4.724E+00	3.692E-02	0.000E+00
1.000E+01	1.979E+00	1.795E-01	2.159E+00	5.192E+00	4.113E-02	0.000E+00
1.500E+01	2.069E+00	2.895E-01	2.359E+00	7.405E+00	6.182E-02	0.000E+00
2.000E+01	2.134E+00	4.042E-01	2.539E+00	9.447E+00	8.167E-02	0.000E+00
3.000E+01	2.226E+00	6.417E-01	2.868E+00	1.315E+01	1.186E-01	7.563E-03
4.000E+01	2.282E+00	8.855E-01	3.167E+00	1.646E+01	1.520E-01	1.375E-01
5.000E+01	2.319E+00	1.133E+00	3.452E+00	1.948E+01	1.825E-01	3.189E-01
6.000E+01	2.347E+00	1.384E+00	3.731E+00	2.227E+01	2.104E-01	5.025E-01
7.000E+01	2.369E+00	1.637E+00	4.006E+00	2.486E+01	2.361E-01	6.758E-01
8.000E+01	2.387E+00	1.892E+00	4.279E+00	2.727E+01	2.598E-01	8.361E-01
9.000E+01	2.403E+00	2.148E+00	4.551E+00	2.954E+01	2.818E-01	9.837E-01
1.000E+02	2.417E+00	2.405E+00	4.822E+00	3.167E+01	3.022E-01	1.120E+00
1.500E+02	2.468E+00	3.705E+00	6.173E+00	4.081E+01	3.859E-01	1.670E+00
2.000E+02	2.502E+00	5.018E+00	7.520E+00	4.814E+01	4.484E-01	2.078E+00
2.500E+02	2.529E+00	6.340E+00	8.868E+00	5.425E+01	4.972E-01	2.403E+00
3.000E+02	2.550E+00	7.667E+00	1.022E+01	5.950E+01	5.365E-01	2.674E+00
3.500E+02	2.567E+00	8.998E+00	1.157E+01	6.410E+01	5.691E-01	2.909E+00
4.000E+02	2.582E+00	1.033E+01	1.292E+01	6.819E+01	5.967E-01	3.116E+00
4.500E+02	2.595E+00	1.167E+01	1.427E+01	7.187E+01	6.203E-01	3.302E+00
5.000E+02	2.606E+00	1.301E+01	1.562E+01	7.522E+01	6.409E-01	3.471E+00
5.500E+02	2.616E+00	1.435E+01	1.697E+01	7.829E+01	6.589E-01	3.627E+00
6.000E+02	2.625E+00	1.569E+01	1.832E+01	8.113E+01	6.750E-01	3.772E+00
7.000E+02	2.641E+00	1.838E+01	2.102E+01	8.622E+01	7.022E-01	4.034E+00
8.000E+02	2.653E+00	2.107E+01	2.372E+01	9.069E+01	7.247E-01	4.267E+00
9.000E+02	2.664E+00	2.376E+01	2.643E+01	9.468E+01	7.435E-01	4.476E+00
1.000E+03	2.674E+00	2.646E+01	2.913E+01	9.829E+01	7.595E-01	4.667E+00

موقع الفريد في الفيزياء

ALUMINUM

Energy MeV	Collision stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Radiative stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Radiation ^d Yield	D.Effect Parameter
1.000E-02	1.649E+01	6.559E-03	1.650E+01	3.539E-04	2.132E-04	3.534E-04
2.000E-02	9.844E+00	6.926E-03	9.851E+00	1.170E-03	3.840E-04	1.031E-03
3.000E-02	7.287E+00	7.059E-03	7.294E+00	2.367E-03	5.353E-04	2.005E-03
4.000E-02	5.909E+00	7.133E-03	5.916E+00	3.900E-03	6.736E-04	3.246E-03
5.000E-02	5.039E+00	7.191E-03	5.046E+00	5.738E-03	8.022E-04	4.732E-03
6.000E-02	4.439E+00	7.243E-03	4.446E+00	7.855E-03	9.232E-04	6.440E-03
7.000E-02	3.998E+00	7.295E-03	4.005E+00	1.023E-02	1.038E-03	8.351E-03
8.000E-02	3.661E+00	7.350E-03	3.668E+00	1.284E-02	1.147E-03	1.045E-02
9.000E-02	3.394E+00	7.411E-03	3.401E+00	1.568E-02	1.252E-03	1.271E-02
1.000E-01	3.177E+00	7.476E-03	3.185E+00	1.872E-02	1.353E-03	1.513E-02
1.500E-01	2.513E+00	7.865E-03	2.521E+00	3.659E-02	1.816E-03	2.907E-02
2.000E-01	2.174E+00	8.344E-03	2.183E+00	5.804E-02	2.231E-03	4.525E-02
3.000E-01	1.839E+00	9.487E-03	1.849E+00	1.083E-01	2.982E-03	8.116E-02
4.000E-01	1.680E+00	1.082E-02	1.691E+00	1.652E-01	3.678E-03	1.190E-01
5.000E-01	1.592E+00	1.230E-02	1.604E+00	2.260E-01	4.349E-03	1.569E-01
6.000E-01	1.540E+00	1.390E-02	1.554E+00	2.894E-01	5.009E-03	1.943E-01
7.000E-01	1.507E+00	1.560E-02	1.522E+00	3.545E-01	5.664E-03	2.307E-01
8.000E-01	1.486E+00	1.739E-02	1.503E+00	4.206E-01	6.319E-03	2.661E-01
9.000E-01	1.473E+00	1.925E-02	1.492E+00	4.874E-01	6.976E-03	3.005E-01
1.000E+00	1.465E+00	2.119E-02	1.486E+00	5.546E-01	7.636E-03	3.339E-01
1.500E+00	1.460E+00	3.177E-02	1.491E+00	8.913E-01	1.101E-02	4.898E-01
2.000E+00	1.475E+00	4.350E-02	1.518E+00	1.224E+00	1.449E-02	6.349E-01
3.000E+00	1.510E+00	6.924E-02	1.580E+00	1.869E+00	2.173E-02	9.145E-01
4.000E+00	1.540E+00	9.702E-02	1.637E+00	2.491E+00	2.918E-02	1.183E+00
4.500E+00	1.552E+00	1.115E-01	1.664E+00	2.794E+00	3.296E-02	1.311E+00
5.000E+00	1.564E+00	1.263E-01	1.690E+00	3.092E+00	3.675E-02	1.433E+00
5.500E+00	1.574E+00	1.413E-01	1.715E+00	3.386E+00	4.055E-02	1.550E+00
6.000E+00	1.583E+00	1.567E-01	1.739E+00	3.675E+00	4.436E-02	1.661E+00
7.000E+00	1.599E+00	1.879E-01	1.787E+00	4.242E+00	5.197E-02	1.868E+00
8.000E+00	1.613E+00	2.200E-01	1.833E+00	4.795E+00	5.955E-02	2.055E+00
9.000E+00	1.625E+00	2.526E-01	1.877E+00	5.334E+00	6.708E-02	2.226E+00
1.000E+01	1.636E+00	2.858E-01	1.921E+00	5.861E+00	7.454E-02	2.384E+00
1.250E+01	1.658E+00	3.706E-01	2.029E+00	7.127E+00	9.281E-02	2.727E+00
1.500E+01	1.676E+00	4.574E-01	2.134E+00	8.328E+00	1.105E-01	3.016E+00
1.750E+01	1.691E+00	5.459E-01	2.237E+00	9.472E+00	1.275E-01	3.265E+00
2.000E+01	1.704E+00	6.357E-01	2.340E+00	1.056E+01	1.438E-01	3.484E+00
2.500E+01	1.726E+00	8.179E-01	2.544E+00	1.261E+01	1.745E-01	3.857E+00
3.000E+01	1.743E+00	1.003E+00	2.746E+00	1.450E+01	2.027E-01	4.168E+00
3.500E+01	1.757E+00	1.190E+00	2.947E+00	1.626E+01	2.287E-01	4.435E+00
4.000E+01	1.769E+00	1.379E+00	3.148E+00	1.790E+01	2.528E-01	4.669E+00
5.000E+01	1.789E+00	1.761E+00	3.550E+00	2.089E+01	2.959E-01	5.068E+00
6.000E+01	1.805E+00	2.147E+00	3.951E+00	2.356E+01	3.333E-01	5.401E+00
7.000E+01	1.818E+00	2.535E+00	4.353E+00	2.597E+01	3.662E-01	5.687E+00
8.000E+01	1.829E+00	2.927E+00	4.755E+00	2.817E+01	3.953E-01	5.938E+00
9.000E+01	1.838E+00	3.320E+00	5.158E+00	3.019E+01	4.214E-01	6.161E+00
1.000E+02	1.847E+00	3.714E+00	5.561E+00	3.205E+01	4.448E-01	6.363E+00
1.500E+02	1.879E+00	5.705E+00	7.583E+00	3.972E+01	5.346E-01	7.150E+00
2.000E+02	1.900E+00	7.714E+00	9.614E+00	4.557E+01	5.958E-01	7.716E+00
3.000E+02	1.931E+00	1.176E+01	1.369E+01	5.424E+01	6.751E-01	8.519E+00
4.000E+02	1.952E+00	1.583E+01	1.778E+01	6.063E+01	7.253E-01	9.091E+00
5.000E+02	1.969E+00	1.992E+01	2.189E+01	6.569E+01	7.604E-01	9.536E+00
6.000E+02	1.983E+00	2.401E+01	2.599E+01	6.988E+01	7.866E-01	9.900E+00
7.000E+02	1.994E+00	2.811E+01	3.010E+01	7.345E+01	8.069E-01	1.021E+01
8.000E+02	2.004E+00	3.221E+01	3.421E+01	7.656E+01	8.233E-01	1.047E+01
9.000E+02	2.013E+00	3.631E+01	3.833E+01	7.932E+01	8.367E-01	1.071E+01

موقع الفريد في الفيزياء

LEAD

Energy MeV	Collision stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Radiative stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Radiation ^d Yield	D.Effect Parameter
1.000E-02	8.428E+00	2.045E-02	8.448E+00	8.255E-04	1.191E-03	4.841E-04
1.500E-02	6.561E+00	2.421E-02	6.585E+00	1.502E-03	1.810E-03	7.491E-04
2.000E-02	5.453E+00	2.693E-02	5.480E+00	2.339E-03	2.432E-03	1.029E-03
3.000E-02	4.182E+00	3.086E-02	4.212E+00	4.445E-03	3.664E-03	1.633E-03
4.000E-02	3.463E+00	3.376E-02	3.497E+00	7.066E-03	4.872E-03	2.294E-03
5.000E-02	2.997E+00	3.613E-02	3.034E+00	1.015E-02	6.055E-03	3.011E-03
6.000E-02	2.670E+00	3.817E-02	2.708E+00	1.365E-02	7.214E-03	3.783E-03
7.000E-02	2.426E+00	3.998E-02	2.466E+00	1.752E-02	8.349E-03	4.608E-03
8.000E-02	2.237E+00	4.162E-02	2.279E+00	2.175E-02	9.461E-03	5.485E-03
9.000E-02	2.087E+00	4.313E-02	2.130E+00	2.629E-02	1.055E-02	6.413E-03
1.000E-01	1.964E+00	4.454E-02	2.008E+00	3.113E-02	1.162E-02	7.392E-03
1.500E-01	1.583E+00	5.054E-02	1.633E+00	5.905E-02	1.664E-02	1.300E-02
2.000E-01	1.387E+00	5.555E-02	1.442E+00	9.180E-02	2.118E-02	1.971E-02
3.000E-01	1.193E+00	6.460E-02	1.257E+00	1.668E-01	2.917E-02	3.579E-02
4.000E-01	1.102E+00	7.340E-02	1.175E+00	2.494E-01	3.614E-02	5.437E-02
5.000E-01	1.053E+00	8.228E-02	1.135E+00	3.361E-01	4.241E-02	7.443E-02
6.000E-01	1.026E+00	9.132E-02	1.117E+00	4.250E-01	4.820E-02	9.529E-02
7.000E-01	1.009E+00	1.005E-01	1.110E+00	5.149E-01	5.363E-02	1.166E-01
8.000E-01	1.000E+00	1.098E-01	1.110E+00	6.050E-01	5.877E-02	1.380E-01
9.000E-01	9.957E-01	1.193E-01	1.115E+00	6.949E-01	6.369E-02	1.595E-01
1.000E+00	9.939E-01	1.290E-01	1.123E+00	7.843E-01	6.842E-02	1.809E-01
1.250E+00	9.966E-01	1.537E-01	1.150E+00	1.004E+00	7.960E-02	2.337E-01
1.500E+00	1.004E+00	1.792E-01	1.183E+00	1.219E+00	9.009E-02	2.854E-01
1.750E+00	1.014E+00	2.053E-01	1.219E+00	1.427E+00	1.001E-01	3.360E-01
2.000E+00	1.024E+00	2.319E-01	1.256E+00	1.629E+00	1.096E-01	3.855E-01
2.500E+00	1.044E+00	2.866E-01	1.331E+00	2.016E+00	1.277E-01	4.817E-01
3.000E+00	1.063E+00	3.427E-01	1.406E+00	2.381E+00	1.447E-01	5.743E-01
4.000E+00	1.095E+00	4.582E-01	1.553E+00	3.057E+00	1.761E-01	7.479E-01
5.000E+00	1.120E+00	5.773E-01	1.698E+00	3.673E+00	2.045E-01	9.061E-01
5.500E+00	1.132E+00	6.379E-01	1.769E+00	3.962E+00	2.177E-01	9.798E-01
6.000E+00	1.142E+00	6.991E-01	1.841E+00	4.239E+00	2.304E-01	1.050E+00
7.000E+00	1.160E+00	8.233E-01	1.983E+00	4.762E+00	2.543E-01	1.182E+00
8.000E+00	1.175E+00	9.495E-01	2.125E+00	5.249E+00	2.765E-01	1.304E+00
9.000E+00	1.189E+00	1.077E+00	2.266E+00	5.705E+00	2.970E-01	1.417E+00
1.000E+01	1.201E+00	1.206E+00	2.407E+00	6.133E+00	3.162E-01	1.523E+00
1.500E+01	1.246E+00	1.870E+00	3.116E+00	7.954E+00	3.955E-01	1.964E+00
2.000E+01	1.277E+00	2.554E+00	3.830E+00	9.399E+00	4.555E-01	2.310E+00
3.000E+01	1.318E+00	3.961E+00	5.279E+00	1.161E+01	5.412E-01	2.841E+00
4.000E+01	1.345E+00	5.402E+00	6.747E+00	1.329E+01	6.002E-01	3.247E+00
5.000E+01	1.365E+00	6.865E+00	8.231E+00	1.463E+01	6.439E-01	3.579E+00
6.000E+01	1.381E+00	8.345E+00	9.726E+00	1.574E+01	6.777E-01	3.861E+00
7.000E+01	1.395E+00	9.836E+00	1.123E+01	1.670E+01	7.048E-01	4.107E+00
8.000E+01	1.406E+00	1.134E+01	1.274E+01	1.753E+01	7.270E-01	4.326E+00
9.000E+01	1.415E+00	1.284E+01	1.426E+01	1.828E+01	7.457E-01	4.521E+00
1.000E+02	1.423E+00	1.436E+01	1.578E+01	1.894E+01	7.617E-01	4.699E+00
1.500E+02	1.455E+00	2.198E+01	2.344E+01	2.153E+01	8.164E-01	5.404E+00
2.000E+02	1.476E+00	2.966E+01	3.114E+01	2.337E+01	8.488E-01	5.921E+00
3.000E+02	1.504E+00	4.509E+01	4.660E+01	2.598E+01	8.862E-01	6.670E+00
4.000E+02	1.523E+00	6.058E+01	6.210E+01	2.783E+01	9.077E-01	7.213E+00
5.000E+02	1.538E+00	7.609E+01	7.763E+01	2.927E+01	9.217E-01	7.640E+00
6.000E+02	1.550E+00	9.163E+01	9.318E+01	3.044E+01	9.317E-01	7.992E+00
7.000E+02	1.560E+00	1.072E+02	1.087E+02	3.143E+01	9.393E-01	8.290E+00
8.000E+02	1.568E+00	1.227E+02	1.243E+02	3.229E+01	9.452E-01	8.550E+00
9.000E+02	1.576E+00	1.383E+02	1.399E+02	3.305E+01	9.500E-01	8.780E+00
1.000E+03	1.583E+00	1.539E+02	1.555E+02	3.373E+01	9.539E-01	8.986E+00

موقع الفريد في الفيزياء

TISSUE, SOFT (ICRP)

Energy MeV	Collision stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Radiative stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Radiation Yield	D.Effect Parameter
1.000E-02	2.257E+01	3.680E-03	2.257E+01	2.512E-04	8.894E-05	0.000E+00
1.500E-02	1.646E+01	3.721E-03	1.647E+01	5.144E-04	1.243E-04	0.000E+00
2.000E-02	1.317E+01	3.740E-03	1.317E+01	8.565E-04	1.571E-04	0.000E+00
3.000E-02	9.643E+00	3.762E-03	9.647E+00	1.757E-03	2.173E-04	0.000E+00
4.000E-02	7.767E+00	3.785E-03	7.771E+00	2.921E-03	2.728E-04	0.000E+00
5.000E-02	6.593E+00	3.811E-03	6.597E+00	4.324E-03	3.248E-04	0.000E+00
6.000E-02	5.787E+00	3.842E-03	5.791E+00	5.946E-03	3.742E-04	0.000E+00
7.000E-02	5.198E+00	3.877E-03	5.202E+00	7.772E-03	4.214E-04	0.000E+00
8.000E-02	4.749E+00	3.916E-03	4.753E+00	9.786E-03	4.668E-04	0.000E+00
9.000E-02	4.394E+00	3.958E-03	4.398E+00	1.198E-02	5.107E-04	0.000E+00
1.000E-01	4.107E+00	4.002E-03	4.111E+00	1.433E-02	5.533E-04	0.000E+00
1.500E-01	3.230E+00	4.258E-03	3.235E+00	2.822E-02	7.515E-04	0.000E+00
2.000E-01	2.786E+00	4.551E-03	2.791E+00	4.497E-02	9.324E-04	0.000E+00
3.000E-01	2.349E+00	5.232E-03	2.354E+00	8.441E-02	1.265E-03	0.000E+00
4.000E-01	2.142E+00	6.018E-03	2.148E+00	1.291E-01	1.576E-03	0.000E+00
5.000E-01	2.027E+00	6.895E-03	2.034E+00	1.770E-01	1.880E-03	7.184E-03
6.000E-01	1.955E+00	7.844E-03	1.963E+00	2.271E-01	2.182E-03	5.251E-02
7.000E-01	1.908E+00	8.854E-03	1.917E+00	2.787E-01	2.485E-03	1.066E-01
8.000E-01	1.876E+00	9.914E-03	1.886E+00	3.314E-01	2.792E-03	1.657E-01
9.000E-01	1.854E+00	1.102E-02	1.865E+00	3.847E-01	3.102E-03	2.276E-01
1.000E+00	1.839E+00	1.218E-02	1.851E+00	4.385E-01	3.416E-03	2.908E-01
1.500E+00	1.810E+00	1.849E-02	1.829E+00	7.110E-01	5.051E-03	6.012E-01
2.000E+00	1.812E+00	2.552E-02	1.838E+00	9.839E-01	6.784E-03	8.807E-01
3.000E+00	1.835E+00	4.099E-02	1.876E+00	1.523E+00	1.047E-02	1.343E+00
4.000E+00	1.859E+00	5.778E-02	1.917E+00	2.050E+00	1.434E-02	1.710E+00
5.000E+00	1.881E+00	7.553E-02	1.957E+00	2.566E+00	1.835E-02	2.012E+00
6.000E+00	1.901E+00	9.404E-02	1.995E+00	3.073E+00	2.243E-02	2.268E+00
7.000E+00	1.918E+00	1.132E-01	2.031E+00	3.569E+00	2.658E-02	2.491E+00
8.000E+00	1.932E+00	1.328E-01	2.065E+00	4.058E+00	3.076E-02	2.688E+00
9.000E+00	1.946E+00	1.528E-01	2.099E+00	4.538E+00	3.496E-02	2.865E+00
1.000E+01	1.958E+00	1.733E-01	2.131E+00	5.011E+00	3.917E-02	3.025E+00
1.500E+01	2.003E+00	2.796E-01	2.283E+00	7.276E+00	6.014E-02	3.666E+00
2.000E+01	2.035E+00	3.905E-01	2.425E+00	9.401E+00	8.060E-02	4.144E+00
3.000E+01	2.077E+00	6.204E-01	2.697E+00	1.331E+01	1.192E-01	4.853E+00
3.500E+01	2.092E+00	7.378E-01	2.830E+00	1.512E+01	1.373E-01	5.133E+00
4.000E+01	2.105E+00	8.565E-01	2.961E+00	1.684E+01	1.545E-01	5.379E+00
5.000E+01	2.126E+00	1.097E+00	3.222E+00	2.008E+01	1.867E-01	5.799E+00
6.000E+01	2.142E+00	1.340E+00	3.482E+00	2.307E+01	2.161E-01	6.147E+00
7.000E+01	2.156E+00	1.585E+00	3.741E+00	2.584E+01	2.430E-01	6.444E+00
8.000E+01	2.168E+00	1.832E+00	4.000E+00	2.842E+01	2.678E-01	6.704E+00
9.000E+01	2.178E+00	2.080E+00	4.259E+00	3.084E+01	2.906E-01	6.934E+00
1.000E+02	2.188E+00	2.330E+00	4.517E+00	3.312E+01	3.118E-01	7.141E+00
1.250E+02	2.207E+00	2.957E+00	5.164E+00	3.829E+01	3.585E-01	7.581E+00
1.500E+02	2.223E+00	3.590E+00	5.812E+00	4.285E+01	3.981E-01	7.941E+00
1.750E+02	2.236E+00	4.225E+00	6.461E+00	4.693E+01	4.321E-01	8.247E+00
2.000E+02	2.247E+00	4.863E+00	7.111E+00	5.062E+01	4.618E-01	8.513E+00
2.500E+02	2.266E+00	6.145E+00	8.412E+00	5.708E+01	5.111E-01	8.957E+00
3.000E+02	2.282E+00	7.433E+00	9.716E+00	6.260E+01	5.507E-01	9.320E+00
3.500E+02	2.295E+00	8.726E+00	1.102E+01	6.743E+01	5.833E-01	9.627E+00
4.000E+02	2.306E+00	1.002E+01	1.233E+01	7.172E+01	6.107E-01	9.894E+00
5.000E+02	2.325E+00	1.262E+01	1.494E+01	7.908E+01	6.545E-01	1.034E+01
6.000E+02	2.341E+00	1.522E+01	1.756E+01	8.524E+01	6.881E-01	1.070E+01
7.000E+02	2.354E+00	1.783E+01	2.019E+01	9.055E+01	7.149E-01	1.101E+01
8.000E+02	2.365E+00	2.045E+01	2.281E+01	9.520E+01	7.368E-01	1.128E+01
9.000E+02	2.375E+00	2.306E+01	2.544E+01	9.935E+01	7.551E-01	1.151E+01

موقع الفريد في الفيزياء

WATER, LIQUID

Energy MeV	Collision stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Radiative stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	Total stp.-Pow MeV-(cm ² /g)	CSDA Range (g/cm ²)	Radiation ^d Yield	D.Effect Parameter
1.000E-02	2.256E+01	3.898E-03	2.256E+01	2.515E-04	9.408E-05	0.000E+00
1.500E-02	1.647E+01	3.944E-03	1.647E+01	5.147E-04	1.316E-04	0.000E+00
2.000E-02	1.317E+01	3.963E-03	1.318E+01	8.566E-04	1.663E-04	0.000E+00
3.000E-02	9.653E+00	3.984E-03	9.657E+00	1.756E-03	2.301E-04	0.000E+00
4.000E-02	7.777E+00	4.005E-03	7.781E+00	2.919E-03	2.886E-04	0.000E+00
5.000E-02	6.603E+00	4.031E-03	6.607E+00	4.320E-03	3.435E-04	0.000E+00
6.000E-02	5.797E+00	4.062E-03	5.801E+00	5.940E-03	3.955E-04	0.000E+00
7.000E-02	5.207E+00	4.098E-03	5.211E+00	7.762E-03	4.453E-04	0.000E+00
8.000E-02	4.757E+00	4.138E-03	4.761E+00	9.773E-03	4.931E-04	0.000E+00
9.000E-02	4.402E+00	4.181E-03	4.407E+00	1.196E-02	5.393E-04	0.000E+00
1.000E-01	4.115E+00	4.228E-03	4.119E+00	1.431E-02	5.842E-04	0.000E+00
1.500E-01	3.238E+00	4.494E-03	3.242E+00	2.817E-02	7.926E-04	0.000E+00
2.000E-01	2.793E+00	4.801E-03	2.798E+00	4.488E-02	9.826E-04	0.000E+00
3.000E-01	2.355E+00	5.514E-03	2.360E+00	8.421E-02	1.331E-03	0.000E+00
4.000E-01	2.148E+00	6.339E-03	2.154E+00	1.288E-01	1.658E-03	0.000E+00
5.000E-01	2.034E+00	7.257E-03	2.041E+00	1.766E-01	1.976E-03	0.000E+00
6.000E-01	1.963E+00	8.254E-03	1.972E+00	2.265E-01	2.292E-03	2.938E-02
7.000E-01	1.917E+00	9.313E-03	1.926E+00	2.778E-01	2.608E-03	7.435E-02
8.000E-01	1.886E+00	1.042E-02	1.896E+00	3.302E-01	2.928E-03	1.267E-01
9.000E-01	1.864E+00	1.159E-02	1.876E+00	3.832E-01	3.251E-03	1.835E-01
1.000E+00	1.849E+00	1.280E-02	1.862E+00	4.367E-01	3.579E-03	2.428E-01
1.500E+00	1.822E+00	1.942E-02	1.841E+00	7.075E-01	5.281E-03	5.437E-01
2.000E+00	1.824E+00	2.678E-02	1.850E+00	9.785E-01	7.085E-03	8.218E-01
3.000E+00	1.846E+00	4.299E-02	1.889E+00	1.514E+00	1.092E-02	1.288E+00
4.000E+00	1.870E+00	6.058E-02	1.931E+00	2.037E+00	1.495E-02	1.660E+00
5.000E+00	1.892E+00	7.917E-02	1.971E+00	2.550E+00	1.911E-02	1.967E+00
6.000E+00	1.911E+00	9.854E-02	2.010E+00	3.052E+00	2.336E-02	2.227E+00
7.000E+00	1.928E+00	1.185E-01	2.047E+00	3.545E+00	2.766E-02	2.453E+00
8.000E+00	1.943E+00	1.391E-01	2.082E+00	4.030E+00	3.200E-02	2.652E+00
9.000E+00	1.956E+00	1.601E-01	2.116E+00	4.506E+00	3.636E-02	2.831E+00
1.000E+01	1.968E+00	1.814E-01	2.149E+00	4.975E+00	4.072E-02	2.992E+00
1.500E+01	2.014E+00	2.926E-01	2.306E+00	7.219E+00	6.243E-02	3.633E+00
2.000E+01	2.046E+00	4.086E-01	2.454E+00	9.320E+00	8.355E-02	4.107E+00
3.000E+01	2.089E+00	6.489E-01	2.738E+00	1.317E+01	1.233E-01	4.806E+00
4.000E+01	2.118E+00	8.955E-01	3.013E+00	1.665E+01	1.594E-01	5.326E+00
5.000E+01	2.139E+00	1.146E+00	3.286E+00	1.983E+01	1.923E-01	5.741E+00
5.500E+01	2.148E+00	1.273E+00	3.421E+00	2.132E+01	2.076E-01	5.921E+00
6.000E+01	2.156E+00	1.400E+00	3.556E+00	2.276E+01	2.222E-01	6.087E+00
7.000E+01	2.170E+00	1.656E+00	3.827E+00	2.547E+01	2.496E-01	6.383E+00
8.000E+01	2.182E+00	1.914E+00	4.096E+00	2.799E+01	2.747E-01	6.641E+00
9.000E+01	2.193E+00	2.173E+00	4.366E+00	3.035E+01	2.978E-01	6.871E+00
1.000E+02	2.202E+00	2.434E+00	4.636E+00	3.258E+01	3.192E-01	7.077E+00
1.500E+02	2.238E+00	3.749E+00	5.987E+00	4.204E+01	4.060E-01	7.876E+00
2.000E+02	2.263E+00	5.078E+00	7.341E+00	4.957E+01	4.698E-01	8.447E+00
3.000E+02	2.297E+00	7.760E+00	1.006E+01	6.116E+01	5.584E-01	9.254E+00
4.000E+02	2.322E+00	1.046E+01	1.278E+01	6.996E+01	6.180E-01	9.827E+00
5.000E+02	2.341E+00	1.317E+01	1.551E+01	7.706E+01	6.613E-01	1.027E+01
6.000E+02	2.357E+00	1.589E+01	1.824E+01	8.299E+01	6.945E-01	1.064E+01
7.000E+02	2.370E+00	1.861E+01	2.098E+01	8.810E+01	7.209E-01	1.094E+01
8.000E+02	2.381E+00	2.133E+01	2.371E+01	9.258E+01	7.425E-01	1.121E+01
9.000E+02	2.391E+00	2.406E+01	2.645E+01	9.657E+01	7.605E-01	1.145E+01
1.000E+03	2.400E+00	2.679E+01	2.919E+01	1.002E+02	7.759E-01	1.166E+01

*CSDA: Continuous-Slowing-Down Approximation.

Detour Factor: Projected / CSDA.

Adopted from national institute of standards and technology - USA. At <http://physics.nist.gov/> (2004).

Nuclear Data

Hydrogen							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
1	1	1.00783	0	0.99985	stable	...	...
1	2	2.01400	2.22	.00015	stable	...	...
1	3	3.01605	8.48	...	12.32y	β^-	0.019

Helium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
2	3	3.01603	7.72	0.00000138	stable	...	...
2	4	4.00260	28.3	.999999	stable	...	...
2	6	6.018886	29.27	...	0.807s	β^-	3.51
2	8	8.03392	31.41	...	0.119s	β^-	14

Lithium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
3	6	6.015121	32.00	0.075	stable	...	...
3	7	7.016003	39.25	0.925	stable	...	...
3	8	8.022485	41.28	...	0.84s	β^-	16.0
3	9	9.026789	45.34	...	0.177s	β^-	13.6
3	11	11.043908	45.54	...	8.7ms	β^-	20.7

Beryllium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
4	7	7.016928	37.6	...	53.28d	EC	0.86
4	9	9.012182	58.17	100	stable	...	...
4	10	10.013534	64.98	...	1.52My	β^-	0.56
4	11	11.021658	65.48	...	13.8s	β^-	11.48
4	12	12.026921	68.65	...	24ms	β^-	11.71

Boron							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
5	8	8.02460	37.74	...	0.770s	$\beta^+, 2\alpha$	11.1, 17.5
5	10	10.01293	64.75	0.199	stable	...	...
5	11	11.00930	76.21	0.801	stable	...	...
5	12	12.01435	79.58	...	0.0202s	β^-	13.37
5	13	13.01778	...	...	0.0174s	β^-	13.44

Carbon							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
6	11	11.011433	73.44	...	20.3m	β^+	1.98
6	12	12.000000	92.16	0.989	stable	...	...
6	13	13.003355	97.11	0.011	stable	...	...
6	14	14.003241	105.29	...	5715y	β^-	0.016

Nitrogen							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
7	12	12.018613	74.04	...	11ms	β^+	17.34
7	13	13.005738	94.11	...	9.97m	β^+	2.22
7	14	14.003074	104.66	0.99634	stable	...	...
7	15	15.000108	115.49	0.00366	stable	...	...
7	16	16.006099	117.98	...	7.13s	β^-	8.68

Oxygen							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
8	13	13.02810	...	...	8.9ms	β^+	17.77
8	14	14.008595	98.74	...	70.6s	β^+	5.14
8	15	15.003065	111.96	...	122s	β^+	2.75
8	16	15.994915	127.62	0.99762	stable	...	...
8	17	16.999131	131.77	0.00038	stable	...	...
8	18	17.999160	139.81	0.002	stable	...	...

موقع الفريد في الفيزياء

Fluorine							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
9	17	17.002095	128.22	...	64.7s	β^+	2.76
9	18	18.000937	137.37	...	1.83h	β^+	1.66
9	19	18.998403	147.80	1.00	stable	...	...
Neon							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
10	20	19.992436	160.65	0.9051	stable	...	...
10	21	20.993843	167.41	0.0027	stable	...	...
10	22	21.991383	177.78	0.0922	stable	...	...
10	23	22.994465	182.98	...	37.2s	β^-	4.38
10	24	23.993613	191.84	...	3.38m	β^-	2.47
Sodium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
11	22	21.994434	174.15	...	2.605y	β^+	2.84
11	23	22.989768	186.57	1	stable	...	...
11	24	23.990961	193.53	...	14.97h	β^-	5.51
Magnesium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
12	23	22.994124	181.73	...	11.32s	β^+	4.06
12	24	23.985042	198.26	0.7899	stable	...	...
12	25	24.985837	205.59	0.1	stable	...	...
12	26	25.982594	216.68	0.1101	stable	...	...
12	27	26.984341	223.13	...	9.45m	β^-	2.61
12	28	27.983877	231.63	...	21.0h	β^-	1.83
Aluminum							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
13	26	25.986892	211.90	...	.71My	β^+	4.01
13	27	26.981539	224.95	1.00	stable	...	...
13	29	28.980446	242.12	...	6.5m	β^+	3.68
Silicon							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
14	28	27.976927	236.54	0.9223	stable	...	...
14	29	28.976495	245.01	0.0467	stable	...	...
14	30	29.973770	255.62	0.031	stable	...	...
14	31	30.975362	262.21	...	2.62h	β^-	1.49
14	32	31.974148	271.41	...	100.y	β^-	0.23
Chlorine							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
17	35	34.968853	298.21	0.7577	stable	...	...
17	36	35.968307	306.79	...	0.3My	β^+, β^-	.071, 1.14
17	37	36.965903	317.1	0.2423	stable	...	...
17	37	38.968004	331.29	...	55.7m	β^-	3.44
Argon							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
18	36	35.967546	306.72	0.00337	stable	...	...
18	38	37.962733	327.35	0.00063	stable	...	...
18	39	38.964314	333.95	...	268y	β^-	0.57
18	40	39.962384	343.81	0.996	stable	...	...
18	42	41.963049	359.34	...	33y	β^-	0.60

موقع الفريد في الفيزياء

Potassium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
19	39	38.963707	333.72	0.93258	stable	...	...
19	40	39.963999	341.53	0.000117	1.26Gy	β^- , β^+	1.31, 0.48
19	41	40.961825	351.62	0.06702	stable	...	...
19	43	42.960717	368.80	...	22.3h	β^-	1.82

Calcium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
20	40	39.962591	342.06	0.96941	stable	...	...
20	41	40.962278	350.42	...	0.1My	EC	0.42
20	42	41.958618	361.90	0.00647	stable	...	...
20	43	42.958766	369.83	0.00135	stable	...	...
20	44	43.955481	380.97	0.02086	stable	...	...
20	45	44.956185	388.38	...	163.8d	β^-	0.26
20	46	45.953690	398.78	0.000040	stable	...	...
20	47	46.954543	406.05	...	4.536d	β^-	1.99
20	48	47.952533	416.00	0.0019	stable	...	...

Chromium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
24	48	47.954033	411.47	...	21.6h	EC	1.65
24	50	49.946046	435.05	0.04345	stable	...	...
24	51	50.944768	444.315	...	27.70d	EC	0.75
24	52	51.940510	456.35	0.83789	stable	...	...
24	53	52.940651	464.29	0.09501	stable	...	...
24	54	53.938883	474.01	0.02365	stable	...	...

Manganese							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
25	53	52.941291	462.9	...	3.7My	EC	0.60
25	54	53.940361	471.85	...	312d	β^+	1.38
25	55	54.938047	482.08	1.00	stable	...	...
25	56	55.938907	489.35	...	2.579h	β^-	3.70

Iron							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
26	54	53.939613	471.77	0.059	stable	...	...
26	55	54.938296	481.07	...	2.7y	EC	0.23
26	56	55.934939	492.26	0.9172	stable	...	...
26	57	56.935396	499.91	0.021	stable	...	...
26	58	57.933277	509.96	0.0028	stable	...	...
26	60	59.934077	525.35	...	1.5My	β^-	0.24

Cobalt							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
27	56	55.939841	486.92	...	77.7d	β^+	4.57
27	57	56.936294	498.29	...	271d	EC	0.84
27	59	58.933198	517.32	1.00	stable	...	...
27	60	59.933820	524.81	...	5.272y	β^-	2.82

Nickel							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
28	56	55.942134	484.00	...	6.10d	EC	2.14
28	58	57.935346	506.46	0.6827	stable	...	...
28	59	58.934349	515.46	...	76ky	EC	1.07
28	60	59.930788	526.85	0.261	stable	...	...
28	61	60.931058	534.67	0.0113	stable	...	...
28	62	61.928346	545.27	0.0359	stable	...	...
28	63	62.929670	552.11	...	100.y	β^-	0.065
28	64	63.927968	561.76	0.0091	stable	...	...

موقع الفريد في الفيزياء

Copper							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
29	63	62.929599	551.39	0.6917	stable	...	...
29	64	63.929766	559.31	...	12.7h	β^+, β^-	0.58, 1.68
29	65	64.927793	569.22	0.3083	stable	...	...
29	67	66.927748	585.40	...	2.58d	β^-	0.58

Zinc							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
30	64	63.929145	559.10	0.486	stable	...	...
30	65	64.929243	567.08	...	243.8d	β^+	1.35
30	66	65.926035	578.14	0.279	stable	...	...
30	67	66.927129	585.20	0.041	stable	...	...
30	68	67.924846	595.39	0.188	stable	...	...
30	70	69.925325	611.09	0.006	stable	...	...
30	72	71.926856	625.81	...	46.5h	β^-	0.46

Gallium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
31	67	66.928204	583.41	...	3.26d	EC	1.00
31	69	68.925580	602.00	0.601	stable	...	...
31	71	70.924701	618.96	0.399	stable	...	...
31	72	71.926365	625.48	...	13.95h	β^-	3.99

Germanium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
32	68	67.928097	590.80	...	288d	EC	0.11
32	70	69.924250	610.53	0.205	stable	...	...
32	71	70.924954	617.94	...	11.2d	EC	0.24
32	72	71.922079	628.69	0.274	stable	...	...
32	73	72.923463	635.47	0.078	stable	...	...
32	74	73.921177	645.68	0.365	stable	...	...
32	76	75.921402	661.61	0.078	stable	...	...

Bromine							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
35	77	76.921377	667.36	...	57.0h	β^+	1.37
35	79	78.918336	686.33	0.5069	stable	...	...
35	81	80.916289	704.38	0.4931	stable	...	...
35	82	81.916802	711.98	...	35.30h	β^-	3.09

Krypton							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
36	78	77.920396	675.56	0.0035	stable	...	...
36	80	79.916380	695.44	0.0225	stable	...	...
36	81	80.916590	703.32	...	0.21My	EC	0.28
36	82	81.913483	714.28	0.116	stable	...	...
36	83	82.914135	721.75	0.115	stable	...	...
36	84	83.911507	732.27	0.57	stable	...	...
36	85	84.912532	739.38	...	10.72y	β^-	0.69
36	86	85.910615	749.24	0.173	stable	...	...
36	90	89.919528	773.23	...	32.3s	β^-	4.39
36	92	91.926270	783.09	...	1.84s	β^-	6.06

Rubidium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
37	83	82.915143	720.03	...	86.2d	EC	0.96
37	85	84.911794	739.29	0.72165	stable	...	...
37	87	86.909187	757.86	0.27835	stable	...	...

موقع الفريد في الفيزياء

Strontium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
38	84	83.913430	728.91	0.0056	stable	...	...
38	85	84.912937	737.44	...	64.8d	β^+	1.08
38	86	85.909267	748.93	0.0986	stable	...	...
38	87	86.908884	757.36	0.07	stable	...	...
38	88	87.905619	768.47	0.8258	stable	...	...
38	90	89.907738	782.64	...	29y	β^-	0.55

Yttrium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
39	88	87.909507	764.07	...	106.61d	EC	3.62
39	89	88.905849	775.55	1.00	stable	...	...
39	91	90.907303	790.34	...	58.5d	β^-	1.55

Zirconium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
40	90	89.904703	783.90	0.5145	stable	...	...
40	91	90.905644	791.10	0.1122	stable	...	...
40	92	91.905039	799.73	0.1715	stable	...	...
40	93	92.906474	806.47	...	1.5My	β^-	0.08
40	94	93.906315	814.69	0.1738	stable	...	...
40	96	95.908275	829.01	0.028	stable	...	...

Molybdenum							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
42	92	91.906809	796.52	0.1484	stable	...	...
42	93	92.906813	804.59	...	3.5 ky	EC	0.41
42	94	93.905085	814.27	0.0925	stable	...	...
42	95	94.905841	821.64	0.1592	stable	...	...
42	96	95.904679	830.79	0.1668	stable	...	...
42	97	96.906020	837.61	0.0955	stable	...	...
42	98	97.905407	846.26	0.2413	stable	...	...
42	99	98.907711	852.18	...	2.75 d	β^-	1.36
42	100	99.907476	860.47	0.0963	stable	...	...

Technetium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
43	97	96.906364	836.51	...	2.6 My	EC	0.32
43	98	97.907215	843.79	...	4.2 My	β^-	1.79

Silver							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
47	105	104.906521	897.81	...	41.3d	EC	1.34
47	107	106.905092	915.28	0.51839	stable	...	...
47	109	108.904756	931.74	0.48161	stable	...	...
47	111	110.905295	947.38	...	7.47d	β^-	1.04

Cadmium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
48	106	105.906461	905.15	0.0125	stable	...	...
48	108	107.904176	923.42	0.0089	stable	...	...
48	109	108.904953	930.77	...	462.3d	EC	0.18
48	110	109.903005	940.67	0.1249	stable	...	...
48	111	110.904182	947.63	0.128	stable	...	...
48	112	111.902757	957.03	0.2413	stable	...	...
48	113	112.904400	963.57	0.1222	stable	...	...
48	114	113.903357	972.61	0.2873	stable	...	...
48	116	115.904755	987.46	0.0749	stable	...	...

موقع الفريد في الفيزياء

Indium

Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
49	111	110.905109	945.99	...	2.806d	EC	0.86
49	113	112.904061	963.10	0.043	stable	...	...
49	115	114.903882	979.41	0.957	4.4e14y	β-	0.50

Iodine

Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
53	125	124.904620	1056.3	...	59.9d	β-	0.18
53	127	126.904473	1072.6	1.00	stable	...	...
53	129	128.904986	1088.3	...	17My	β-	0.19

Xenon

Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
54	124	123.905894	1046.3	0.001	stable	...	...
54	126	125.904281	1063.9	0.0009	stable	...	...
54	127	126.905182	1071.0	...	36.2d	EC	0.66
54	128	127.903531	1080.8	0.0191	stable	...	...
54	129	128.904780	1087.7	0.264	stable	...	...
54	130	129.903509	1096.9	0.041	stable	...	...
54	131	130.905072	1103.5	0.212	stable	...	...
54	132	131.904144	1112.5	0.269	stable	...	...
54	133	132.905889	1118.9	...	5.25d	β-	0.43
54	134	133.905395	1127.5	0.104	stable	...	...
54	136	135.907213	1141.9	0.089	stable	...	...

Cesium

Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
55	133	132.905429	1118.6	1.00	stable	...	...
55	135	134.905885	1134.3	...	2.3My	β-	0.21
55	137	136.907074	1149.3	...	30.17y	β-	1.17

Barium

Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
56	130	129.906281	1092.8	0.00106	stable	...	...
56	132	131.905043	1110.1	0.00101	stable	...	...
56	133	132.905988	1117.3	...	10.53y	EC	0.52
56	134	133.904485	1126.7	0.02417	stable	...	...
56	135	134.905665	1133.7	0.06592	stable	...	...
56	136	135.904553	1142.8	0.07854	stable	...	...
56	137	136.905812	1149.7	0.1123	stable	...	...
56	138	137.905233	1158.3	0.717	stable	...	...
56	140	139.910581	1169.5	...	12.76d	β-	1.03
56	142	141.916361	1180.2	...	10.7m	β-	2.13
56	143	142.920483	1184.5	...	15s	β-	4.2
56	144	143.922845	1190.3	...	11.5s	β-	3.0

Tungsten

Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
74	180	179.946701	1444.6	0.0012	stable	...	...
74	182	181.948202	1459.4	0.263	stable	...	...
74	183	182.950220	1465.6	0.143	stable	...	...
74	184	183.950929	1473.0	0.3067	stable	...	...
74	186	185.954356	1485.9	0.286	stable	...	...

Iridium

Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
77	189	188.958712	1503.7	...	13.2d	EC	0.54
77	191	190.960584	1518.1	0.373	stable	...	...
77	192	191.962580	1524.3	...	73.83d	β-	1.45
77	193	192.962917	1532.1	0.627	stable	...	...

موقع الفريد في الفيزياء

Platinum							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
78	190	189.959916	1509.9	0.0001	6.5E11y	α	3.24
78	192	191.961019	1525.0	0.0079	stable	...	...
78	193	192.962977	1531.3	...	60y	EC	0.057
78	194	193.962655	1539.6	0.329	stable	...	...
78	195	194.964765	1545.7	0.338	stable	...	...
78	196	195.964927	1553.7	0.253	stable	...	...
78	198	197.967869	1567.1	0.072	stable	...	...
Gold							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
79	195	194.965012	1544.7	...	186.1d	EC	0.23
79	196	195.996543	1523.4	...	6.18d	EC, β^-	0.51, 0.69
79	197	196.966543	1559.4	1.00	stable	...	...
Mercury							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
80	194	193.965391	1535.5	...	520y	EC	0.04
80	196	195.965807	1551.3	0.0015	stable	...	...
80	198	197.966743	1551.3	0.100	stable	...	...
80	199	198.968254	1573.2	0.1689	stable	...	...
80	200	199.968300	1581.2	0.231	stable	...	...
80	201	200.970277	1587.5	0.132	stable	...	...
80	202	201.970617	1595.2	0.298	stable	...	...
80	203	202.972848	1601.2	...	46.6d	β^-	0.49
80	204	203.973466	1608.7	0.069	stable	...	...
Lead							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
82	204	203.973020	1607.6	0.0014	stable	...	...
82	205	204.974458	1614.3	...	15.1My	EC	0.053
82	206	205.974440	1622.4	0.241	stable	...	...
82	207	206.975871	1629.1	0.221	stable	...	...
82	208	207.976627	1636.5	0.524	stable	...	...
82	209	208.981065	1640.4	...	3.25h	β^-	0.64
82	210	209.984163	1645.6	...	22.6y	β^-	0.063
82	211	210.988735	1649.4	...	36.1m	β^-	1.38
82	212	211.991871	1654.6	...	10.64h	β^-	0.57
82	214	213.999798	1663.3	...	26.8m	β^-	1.03
Radon							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy MeV	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
86	210	209.989669	1637.3	...	2.4h	a, EC	6.16, 2.37
86	211	210.990575	1644.6	...	14.6h	β^+ , a	2.89, 5.96
86	212	211.990697	1652.5	...	24h	α	6.39
86	213	212.996347	1655.3	...	25ms	α	8.24
86	214	213.995339	1664.3	...	0.27ms	α	9.21
86	219	219.009478	1691.5	...	3.96s	α	6.95
86	220	220.011368	1697.8	...	55.6s	α	6.40
86	222	222.017571	1708.2	...	3.823d	α	5.59

Radium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
88	206	206.003800	1590.3	...	0.4s	α	7.42
88	216	216.003509	1671.3	...	0.18s	α	9.53
88	218	218.007118	1684.1	...	14ms	α	8.55
88	220	220.011004	1696.6	...	23ms	α	7.59
88	222	222.015353	1708.7	...	38s	α	5.59
88	223	223.018501	1713.9	...	11.43d	α	5.98
88	224	224.020186	1720.4	...	3.66d	α	5.79
88	225	225.023604	1725.2	...	14.8d	β^-	0.37
88	226	226.025403	1731.6	...	1.599ky	α	4.87
88	228	228.031064	1742.5	...	5.75y	β^-	0.04

Thulium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
69	169	168.934212	1371.4	1.00	stable	...	...
69	170	169.935798	1378.0	...	128.6d	β^-	0.97
69	171	170.936426	1385.5	...	1.92y	β^-	0.096

Thorium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
90	227	227.027703	1736.0	...	18.72d	α	6.15
90	228	228.028715	1743.0	...	1.912y	α	5.52
90	229	229.031755	1748.4	...	7.9ky	α	5.17
90	230	230.033128	1755.2	...	75.4ky	α	4.77
90	231	231.036298	1760.3	...	35.2h	β^-	0.39
90	232	232.038051	1766.7	1.00	1.4E10y	α	4.08
90	234	234.043593	1777.7	...	24.10d	β^-	0.27

Uranium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
92	226	226.029170	1725.0	...	0.5s	α	7.56
92	231	231.036270	1758.7	...	4.2d	EC	0.36
92	232	232.037130	1766.0	...	68.9d	α	5.41
92	233	233.039628	1771.8	...	0.159My	α	4.91
92	234	234.040947	1778.6	5.5E5	0.245My	α	4.86
92	235	235.043924	1783.9	0.0072	0.704Gy	α	4.68
92	236	236.045563	1790.4	...	23.4My	α	4.57
92	238	238.050785	1801.7	0.99275	4.46Gy	α	4.27
92	239	239.054290	1806.5	...	23.54m	β^-	1.26

Plutonium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
94	239	239.052158	1806.9	...	24.11ky	β^-	5.24
94	242	242.058737	1825.0	...	0.376My	α	4.98
94	244	244.064198	1836.1	...	82My	α	4.67

Americium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
95	241	241.056824	1818.0	...	432.2y	α	5.64
95	243	243.061375	1829.9	...	7.37ky	α	5.44

Californium							
Z	A	Atomic Mass (u)	Binding Energy (MeV)	Natural Abounds	Half-life	Dec.	Q MeV
98	249	249.074845	1863.4	...	351y	α	6.30
98	251	251.079579	1875.1	...	890y	α	6.17

ملحق التعريفات

الأخذ الداخلي للمواد المشعة أو الاندخال الداخلي (Radioactive intake): عملية دخول المادة المشعة الى داخل جسم الإنسان سواء عن طريق الجهاز الهضمي أو التنفسي أو الجلد أو الجروح المفتوحة.

أشعة جاما (gamma radiation): أشعة كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية مصدرها نواة الذرة.

أشعة سينية (X-rays): أشعة كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية.

الإلكترون (Electron): جسيم ابتدائي كتلته 1840/1 وحدة وزن ذري و يحمل الشحنة السالبة.

الإلكترون الكهروضوئي (Photo-electron): عملية امتصاص طاقة الفوتون تؤدي الى إكساب احد الالكترونات المدارية الطاقة الكافية للإفلات من مدار الذرة.

الإلكترون فولت (eV): الطاقة الحركية للإلكترون عندما يتسارع في فرق جهد مقداره فولت واحد.

الإنتاج الثنائي (Pair Production): عملية تحول فوتون أشعة جاما والذي تزيد طاقته عن 1.022 مليون إلكترون فولت الى بوزترون وإلكترون.

الانتقال الخطي للطاقة (linear energy transfer): معدل انتقال الطاقة لكل وحدة مسافة على طول المسار.

الانحلال الإشعاعي (Radioactive decay): هو عملية انتقال النواة غير المستقرة الى حالة أكثر استقراراً.

البروتون (Proton): جسيم مشحون يعادل وزنة ووزن النيوترون تقريبا مشحون بشحنة موجبة ويوجد في نواة الذرة.

البوزترون (Positron): جسيم كتلته تساوي كتلته الإلكترون ويحمل الشحنة الموجبة ومصدره نواة الذرة.

بيتا (Beta): إلكترون ذو طاقة عالية مصدره الأصلي نواة الذرة ويحمل الشحنة السالبة وتبلغ كتلته 1840/1 وحدة وزن ذري.

البيدو *albedo*: مصطلح مشتق من الكلمة اليونانية والتي تعني الانعكاس، وتعني قياس الجرعة الإشعاعية بقياس مقدار النيوترونات أو الفوتونات المنعكسة.

البيكرل (Becquerel (Bq): التفتك بالثانية الوحدة.

التأثيرات العتبية (non-Stochastic effects): الحد الأدنى من التعرض الإشعاعي والذي تحدث عنده التغيرات في المادة الحية.

التأثيرات غير العتبية (Stochastic effects): الأثر الاحتمالي لحدوث التغيرات في المادة الحية نتيجة للتعرض الإشعاعي.

التأين النوعي (specific ionization): عدد الأزواج الأيونية المتكونة لكل وحدة مسافة.

تدفق الجسيمات (الفوتونات) The particles (photons) flux: تدفق الجسيمات (أو الفوتونات) ، وتعتبر عن معدل تغير عدد الجسيمات أو الفوتونات بالنسبة للزمن ، عند نقطة معينة. ويقاس التدفق في النظام العالمي بوحدة 1/ثانية (أي ث⁻¹)، حيث أنه يعبر عن عدد منسوب لوحدة الزمن.

تركيز الهواء المستنشق (derived air concentration-DAC): كمية الهواء المستنشقة من قبل شخص لمدة عام واحد.

تريتيوم (Tritium): الاسم الخاص لنظير عنصر الهيدروجين (3H).

التعرض الإشعاعي (Exposure): كمية التأين الذي تحدثه أشعة x أو أشعة γ في الهواء.

التعرض الخارجي للإشعاع (external radiation exposure): التعرض الإشعاعي الناتج عن التعرض لمصدر إشعاعي من خارج الجسم.

التعرض الداخلي للإشعاع (internal radiation exposure): التعرض الإشعاعي الناتج عن التعرض لمصدر إشعاعي من داخل الجسم.

التعرض الطبي (medical exposure): الجرعة الإشعاعية نتيجة إجراء طبي لغايات تشخيصية أو علاجية.

ثابت بلانك (Planck's Law): ثابت رياضي يرمز له بالرمز h ويساوي $h = 4.14 \times 10^{-15}$.

الجرعة الفعالة Effective Dose: تعبر عن احتمال حدوث الآثار العشوائية للإشعاع الناجم من جرعة مكافئة وتعتمد بشكل عام على العضو أو النسيج المتعرض للإشعاع.

جرعة الفعالية الحيوية النسبية للإشعاع (Relative Biological Effectiveness (RBE)): النسبة بين الجرعات المختلفة والتي تعطي نفس التأثير الحيوي في الجسم الحي.

الجرعة الممتصة Absorbed dose: الطاقة الممتصة في وحدة الكتلة من الجسم المعرض للإشعاع.

جري (Gray): وحدة حديثة لقياس مقدار الجرعة الممتصة ويعبر عنها بالجول لكل كغم.

جهاز مسح إشعاعي (radiation survey monitor): جهاز لقياس أو مراقبة الإشعاع ومستوياته.

الحد الأدنى للقياس (Lower Limit Detection- LLD) -: الحد الأدنى الذي تستطيع الأداة قياسه.

حدود الأخذ السنوي (annual limit of intake-ALI): مقدار الأخذ من المادة المشعة الأدنى وما زاد عنه يسبب آثار ضارة في الجسم.

حدود الجرعة (Dose Limit): مقدار الجرعة الفعالة أو المكافئة للأشخاص والناتجة عن ممارسة مسيطر عليها والتي يجب عدم تجاوزها سواء كانت من تعرض خارجي للإشعاع أو نتيجة الأخذ الداخلي لمواد مشعة، وتكون حدود هذه الجرعة للعاملين بمقدار جرعة فعالة بمقدار 20 ملي سيفرت في السنة الواحدة ولمدة خمس سنوات متتالية بنفس المقدار أو جرعة فعالة بمقدار 50 ملي سيفرت في السنة الواحدة المفردة بدون وجود تتابع في التعرض ولعموم الجسم.

حدود الجرعة المسموح بها (dose limits): قيمة معينة يتم وضعها من قبل السلطات المختصة يسمح بالتعرض الإشعاعي ضمن حدودها.

الحقل الموسع (Expanded field): يكون الحقل موسع عندما يكون التدفق والتوزيع الطاقوي والزواوي لها نفس القيمة على كامل الحجم المدروس.

خارج الجسم الحي (In vitro): قياس أو فحص عينات مأخوذة من جسم الإنسان

ديتريوم (deuterium): الاسم الخاص لنظير عنصر الهيدروجين (2H).

الراد (Rad): وحدة قديمة لقياس الجرعة الإشعاعية وتساوي 100 ارج لكل واحد غرام.

رزمة (Package): عملية تحضير ورزم للمادة المشعة تحضيراً للنقل.

رم (Rem): جرعة قديمة لقياس مكافئ الجرعة.

رنجن (Roentgen): وحدة قياس التعرض الإشعاعي الناتج عن التعرض لكمية من الأشعة المؤينة التي تحدث 1.61×10^{15} زوجاً من الأيونات في كغم من الهواء الجاف في الشرطين النظامين والتي تحمل شحنة كهربائية قدرها $2.58 \times 10^{-4} C$.

سائل وميضي: مادة سائلة تطلق وميضاً ضوئياً عند سقوط الإشعاع.

السابحات والمتساقطات (aerosols): المواد المشعة والتي يمكن أن تكون على شكل قطرات سائلة أو ذرات صلبة من الغبار وتكون بالعادة معلقة في الهواء.

سلاسل الانحلال الطبيعي (Natural radioactive series): تتكون من المواد المشعة الموجودة بشكل طبيعي.

سمك النصف (HVL – half value layer): السمك اللازم لتوهين الأشعة إلى مقدار النصف.

سمك عشري (TVL – Tenth value layer): مقدار السمك اللازم لتوهين الأشعة إلى مقدار عشر قيمتها الأصلية.

سيفرت (Sievert (Sv)): وحدة حديثة لقياس مكافئ الجرعة.

سيولة الجسيمات (الفوتونات) Φ The particles fluence: خارج قسمة عدد الجسيمات الساقطة على مساحة المقطع ووحدة قياس السيولة في النظام العالمي هي مقلوب المتر المربع (أي م⁻²).

سيولة الطاقة Ψ The energy fluence: خارج قسمة الطاقة الإشعاعية (طاقة الجسيمات أو الفوتونات)، الساقطة على المساحة، ووحدة قياس السيولة في النظام العالمي للوحدات، هي (جول/متر مربع).

الطاقة الإشعاعية The radiant energy: طاقة الجسيمات أو الفوتونات الموجودة في حيز معين، أو المنبعثة من نقطة أو من جسم ممتد، أو المنقلة خلال سطح، أو المودعة في جسم ما. وتقاس الطاقة الإشعاعية في النظام العالمي بوحدة الجول.

طاقة التوقف التقريبية (Relative stopping power (S_{rel}): مقدار فقدان الطاقة في المواد المختلفة بالنسبة لمقدارها في مادة الهواء.

عدد الجسيمات أو الفوتونات (photons) number: عدد الجسيمات أو الفوتونات الموجودة في حيز معين، أو المنبعثة من نقطة أو جسم ممتد أو المنقلة خلال سطح معين أو المودعة في جسم معين.

عمر النصف الإشعاعي (Half-life): الزمن اللازم لانحلال نصف ذرات المادة المشعة.

عمر النصف البيولوجي (Biological half-life): الزمن اللازم لتخلص النظام الحيوي من نصف الكمية.

الفا (Alpha): نواة ذرة الهليوم تحتوي على بروتونين ونيوترونين.

فوتون (Photon): طاقة كهرومغناطيسية.

في الجسم الحي (In vivo): القياس أو الفحص مباشر في الجسم.

قدرة التوقف (stopping power-S): مقدار خسارة الجسيم لطاقته على طول مساره في المادة.

كاشف حجرة التأين (ionizing chamber): حجرة تحتوي على الغاز موصولة بفرق جهد تتأين ذرات الغاز فيها عند دخول الإشعاع إليها.

الكمية الفيزيائية The physical quantity: هي كمية تستخدم لوصف وتمييز ظاهرة فيزيائية محددة، وللتعبير عنها أو تعيينها بدلالة الأرقام.

كواشف ومبضية (scintillation detectors): كواشف إشعاعية يتم فيها استخدام المواد التي تطلق ومبضا ضوئيا عند سقوط الإشعاع عليها ومن خلال قياس شدة ومقدار هذا الضوء الوميضي يمكننا معرفة شدة وطاقة الإشعاع.

الكوري (Curie): لوحة قديمة كانت معتمدة قبل البيكرل والتي لا تزال شائعة ويرمز لها بالرمز Ci وتساوي ،

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$$

الكيرما (Kerma): كمية الطاقة الحركية الأولية لجميع الجسيمات المشحونة المؤينة المتحررة في أي وسط مادي نتيجة لتفاعل الجسيمات غير المشحونة ((نيوترون، فوتون)) مع المادة (Kinetic Energy Released in the Medium).

اللجنة الدولية للوحدات الإشعاعية والقياسات ICRU : لجنة دولية معينة بوضع تعريف محددة لقياس كميات الإشعاع.

اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية ICRP : لجنة دولية معينة بأمر الوقاية الإشعاعية.

محاكي وهمي (phantom): في العادة يستخدم كبديل عن جسم الإنسان يتكون من مواد مكافئة للنسيج البشري.

المخزن (Store): مكان للتخزين.

المصدر المفضوض (Unsealed Source): مصدر إشعاعي غير مغلق.

مصدر مغلق (Sealed Source): مادة مشعة توضع في كبسولة محكمة الإغلاق.

معامل التوهين الخطي (linear attenuation coefficient): معامل يمثل مجموع معاملات التوهين للتفاعلات التي تحدث للفوتون عن عبوره سمك معين في المادة.

معامل الجرعة المكافئة ($Dose Coefficient - h_T(\tau)$): مقدار الجرعة المكافئة لكل وحدة اخذ من المواد المشعة ويرمز لها بالحرف الأصغر من رمز الجرعة المكافئة.

معامل الطاقة الكتلي الخطي (linear mass attenuation coefficient): معامل يستعمل لحسابات الطاقة الممتصة ويعبر عن مقدار الطاقة المودعة في المادة ويساوي (μ_{en} / ρ) و وحدته cm^2 / g .

معامل النوعية أو العامل المرجح للإشعاع (Quality Factor): قيمة افتراضية للتعبير عن التأثير البيولوجي لكل نوع من الإشعاع.

معامل امتصاص الطاقة الخطي (linear absorption coefficient): معامل يعبر عن امتصاص الطاقة ويساوي معامل التوهين الخطي مطروحاً منة مجموع معاملات ضياع الطاقة الأخرى وهي المعاملات التي لها علاقة بحمل الطاقة الى مكان آخر.

المقاييس الشخصية (personal dosimeter): مقاييس صغيرة الحجم يرتديها الشخص لقياس مقدار التعرض الإشعاعي مثل الشارات الفيلمية والوضحات (TLD).

مقياس المسح الإشعاعي (Radiation Survey Meter): جهاز قياس إشعاعي قابل للكشف عن الإشعاع وقياس الجرعة الإشعاعية.

مكافئ الجرعة الاتجاهية Directional dose equivalent $H'(d, \alpha)$: يعرف مكافئ الجرعة الاتجاهية عند نقطة في حقل إشعاعي بأنه مكافئ الجرعة الناتج عن هذا الحقل الإشعاعي الموسع عند عمق d على نصف القطر في اتجاه معين بزاوية α .

مكافئ الجرعة الشخصية Personal dose equivalent $H_p(d)$: يعرف مكافئ الجرعة الشخصية $H_p(d)$ بأنه مكافئ الجرعة في النسيج على عمق d .

مكافئ الجرعة المحيطة Ambient dose equivalent $H^*(d)$: يعرف مكافئ الجرعة المحيطة عند نقطة في حقل إشعاعي بأنه مكافئ الجرعة الناتج عن هذا الحقل الإشعاعي المضبوط والموسع عند عمق d على نصف قطر الدائرة المعاكس لاتجاه هذا الحقل.

النشاط الإشعاعي (Activity): عدد التفككات التي تحدث للعنصر المشع خلال وحدة الزمن ويقاس النشاط الإشعاعي بوحدة البيكرل (Bq). الذي يساوي بالتعريف تفكك بالثانية الواحدة، أما الوحدة التي كانت معتمدة قبل

$$1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq, \quad Ci \text{ ويرمز لها بالرمز } Ci$$

النشاط الإشعاعي النوعي (Specific Activity): نسبة الذرات النشطة إشعاعيا الى عددها الكيميائي النظام العالمي للوحدات (SI) System International: يستخدم في الوقت الحالي نظام للوحدات، يسمى "بالنظام العالمي للوحدات"، يحل محل النظم التقليدية المتعددة. وفي مجال الوقاية من الإشعاعات المؤينة، تقسم الكميات الفيزيائية والوحدات الخاصة بها إلى كميات ووحدات لقياس الإشعاع Radiometric، وأخرى لقياس الجرعات Dosimetric.

نظام القياس العالمي (S.I.): نظام القياس الذي تم الاتفاق عليه دوليا.

النواة (Nucleus): الحجم المركزي في الذرة وتحتوي على البروتونات والنيوترونات.

نيوترونات باردة (cold neutron): نيوترونات طاقتها اقل من 0.0253 إلكترون فولت.

نيوترونات بطيئة (slow neutron): نيوترونات تبلغ طاقتها من 0.0253 ولغاية 100 إلكترون فولت.

نيوترونات سريعة (Fast neutron): نيوترونات ذات طاقة عالية تبلغ (0.01 – 10 مليون إلكترون فولت).

النيوترينو (Neutrino): جسيم صغير غير مشحون يرافق انبعاث جسيمات بيتا.

النيوترون (Neutron): جسيم غير مشحون يبلغ وزنه حوالي وحدة وزن ذري واحدة موجود في نواة الذرة.

الوحدة unit: هي عينة مرجعية محددة، تستخدم لقياس مقدار الكمية الفيزيائية.

الوضحات (الكواشف الوميضية الحرارية) (TLD): كاشف إشعاعي يعمل على تخزين المعلومات عن مقدار التعرض الإشعاعي.

