جامعة دمشق
كلية العلوم
قسم العلوم البيئية

الفصل الأول
الإشعاعات والبيولوجيا الإشعاعية
المدة ساعتان
الدرجة 70

أجب على الأسئلة التالية:

السؤال الأول : عرف المصطلحات العلمية التالية بوضوح وبالتفصيل: (18 درجات) 3 درجات لكل تعريف

الريتجن- الفرميونات - الميزونات - التأثير البيولوجي النسبي RBE - متلازمة الإشعاع الحادة - منحنى البقيا الخلوية - الأنسجة بطيئة الاستجابة للإشعاع المؤين- تأثير المتفرج - الجرعة التراكمية وطريقة حسابها.

الريتجن: وحدة التعرض للإشعاع المؤين. هي كمية أشعة جاما أو الأشعة السينية اللازمة لإنتاج أيونات ينتج عنها شحن قدره 0.000258 كولوم/كيلوجرام من الهواء في ظل الظروف القياسية. سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم الألماني فيلهلم رونتجن الذي اكتشف الأشعة السينية عام 1895.

الفيرمونات : تمثل الكواركات والليبتونات ومعظمها يدخل في تكوين المادة ، الدوران المغزلي لها كسر 1/2، الباريونات لها نفس الدوران المغزلي للفيرمونات لذلك تنضم للفيرمونات. شهر هذه الجسيمات هو الإلكترون الذي يساوي السبين له نصف وهنالك جسيمات أو فيرميونات لها سبين يساوي واحد ونصف أو اثنين ونصف وهكذا. هنالك أيضا البوزونات التي يكون لها سبين صفر أو عدد صحيح مثل الفوتون . تلعب الفيرميونات دوراً هاماً في بناء الذرات والجزيئات وتفاعلات الطاقة في الكون.

الميزونات: تعتبر الميزونات جسيمات دون ذرية غير مستقرة، وتتكون من كوارك وتقيض الكوارك تربطهما القوة الشديدة . وهي جزء من عائلة جسيمات الهادرون - وهي الجسيمات المتكونة من الكواركات، والجزء الآخر من عائلة الهادرونات هي الباريونات - فالجسيم دون الذري يحتوي على ثلاث كواركات. والاختلاف الرئيسي ما بين الميزونات والباريونات هو أن الميزونات لها عزم مغزلي يساوي 1 (وكذلك البوزونات)، بينما الباريون وهي فرميونات (لها عزم مغزلي 2/1). ولأن الميزونات والبوزونات ذات عزم مغزلي 1 ، فإن مبدأ استبعاد باولي لاينطبق عليها . ولهذا السبب فبإمكانها التصرف كأنها نواقل قوة للمسافات القصيرة، وتكون جزءا من عمليات كالتفاعل النووي.

التأثير البيولوجي النسبي RBE: عامل يستخدم لمقارنة التأثير البيولوجي للجرعات الممتصة من مختلف أنواع وطاقات الإشعاع المؤين. يتم تحديده من خلال نسبة الجرعة الممتصة من الإشعاع المعين المعني إلى الجرعة الممتصة من الإشعاع المرجعي المطلوب لإنتاج تأثير بيولوجي مماثل في كائن أو عضو أو نسيج معين.

متلازمة الإشعاع الحادة، Acute Radiation Syndrome (أحيانا تعرف بالتسمم الإشعاعي أو المرض الإشعاعي)، مرض حاد ينتج تعرض كامل الجسم (أو أغلب الجسم) إلى جرعة عالية من الإشعاع في وقت قصير جداً (عادة مسألة دقائق). أمثلة على الأفراد الذين عانوا من متلازمة الإشعاع الحادة و بقوا على قيد الحياة هم ناجوا قنابل هيروشيما و نجازاكي الذرية، رجال الإطفاء الذين إستجابوا لحريق محطة تشرنوبل للطاقة النووية في 1986. إن جرعات الجسم الكاملة الحادة التي تزيد عن حوالي 1 Gy تسبب بشكل عام متلازمة الإشعاع الحادة. قد تظهر الأعراض الأولى، والتي تسمى المرحلة البادرية (Prodromal Phase)، في غضون ساعات قليلة وتسبب الشعور بالتوعك والغثيان، وربما القيء. وبعد يوم تقريباً قد يشعر الشخص المعرض بتحسن حال جسده نتيجة ما قد يكون إطلاقاً للسموم والمواد الشبيهة بالهستامين التي تحدث إما عند التعرض أو بعده بفترة قصيرة. أما الأعراض التالية فهي تعتمد على الجرعة. القسم الأكثر حساسية للإشعاع في القناة الهضمية، وهو الأمعاء الدقيقة، مبطن بطبقة واحدة من الخلايا الظهارية مع العديد من الزغابات (Villi) لزيادة امتصاصها العناصر الغذائية. يتم تآكل الخلايا باستمرار من أطراف الزغب عن طريق مرور الغذاء ويتم استبدالها بالخلايا الجذعية (خلايا السرداب) (Crypt Cells) الموجودة في قاعدة الزغابات. تستغرق الخلايا الظهارية من 3 إلى 5 أيام من التكوين حتى تهاجر إلى قمة الزغبة. تؤدي جرعة حادة تبلغ حوالي 5 Gy للأمعاء إلى انخفاض فوري في خلايا السرداب مما يؤدي إلى تقرح، وفي الجرعات الأعلى، تعرية سطح الأمعاء بعد 5-10 أيام. يتم فقدان الدم من الأوعية الدموية التالفة وكذلك سوائل الجسم في القناة الهضمية. إذا تم تشعيع نخاع العظم أيضاً، العدد المنخفض للصفائح الدموية عند هذه الجرعات يجعل الجسم غير قادر على وقف النزيف. عادةً، قد تمر البكتيريا غير الضارة من محتويات الأمعاء عبر الأوعية الدموية التالفة إلى مجرى الدم، حيث تصبح مسببة للأمراض. انخفاض عدد الكريات البيض يترك الجسم بلا دفاع ضد البكتيريا. فقدان الشهية، والحمى، والقيء، والإسهال، والوزن الخسارة، وما إلى ذلك، قد تؤدي إلى الوفاة بعد 10-20 يوماً من التعرض.

تستخدم **منحنيات بقاء الخلية** لوصف العلاقة بين جرعة الإشعاع ونسبة الخلايا التي تبقى على قيد الحياة. عادة، يتم استخدام النماذج الرياضية لوصف بيانات بقاء الخلية. يعد بقاء الخلايا الطبيعية أحد الاعتبارات المهمة في العلاج الإشعاعي. إنها الخلايا السرطانية التي يريد المعالج تدميرها، مع حماية الخلايا الطبيعية قدر الإمكان. يمكن أن يكون لنقطة نهاية البقاء معنيان مختلفان اعتماداً على ما إذا كانت مجموعات الخلايا التي تمت دراستها تتمتع بإمكانية تكاثرية. في حالة الخلايا غير المنقسمة والمتميزة بشكل نهائي، يرتبط البقاء بشكل عام بقدرة الخلايا على الحفاظ على وظيفتها. بشكل عام، هناك حاجة إلى جرعات إشعاعية كبيرة نسبياً لتعطيل وظيفة الخلية للخلايا المتمايزة بشكل نهائي. بالنسبة للخلايا التي تتكاثر إما في الأنسجة أو في المزرعة، يرتبط موت الخلية أو بقائها بقدرة تلك الخلية على الاستمرار في الانقسام وإنتاج نسخ من الخلايا.

الأنسجة بطيئة الاستجابة للإشعاع المؤين: الأنسجة ذات معدل دوران بطيء وتستجيب ببطء للإشعاع. في الأنسجة التي تنقسم فيها الخلايا نادراً، من الممكن أن يبقى الضرر الإشعاعي كامناً لفترة طويلة من الزمن ويتم التعبير عنه ببطء شديد. تفشل هذه الأنسجة عندما يكون هناك ما يكفي من فقدان الخلايا لتحفيز التجدد (Regeneration)، مما يؤدي إلى حدوث سيل من الموت الخلوي بعد فترة تخلف طويلة (Long Lag Period). ومن الأمثلة على ذلك الدماغ والحبل الشوكي والكلى والرئة والمثانة.

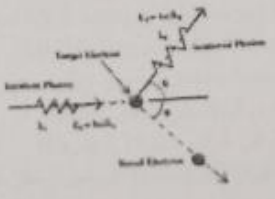
تأثير المتفرج: تأثير المتفرج الناجم عن الإشعاع هو الظاهرة التي تظهر فيها الخلايا غير المشعة تأثيرات إلى جانب مستوياتها المختلفة نتيجة للإشارات الواردة من الخلايا المشعة القريبة. قد تشمل استجابات الخلايا غير المشعة تغييرات في عملية الترجمة، والتعبير الجيني، وتكاثر الخلايا، وموت الخلايا المبرمج.

الجرعة التراكمية وطريقة حسابها: الجرعة المتراكمة (الجرعة التراكمية) هي الجرعة الإشعاعية الإجمالية المتراكمة خلال فترة محددة مثل الدقيقة أو الساعة أو السنة. ويمكن استخدام قيمتها من الناحية التشغيلية (أي لمهمة معينة تعمل مع الإشعاعات المؤينة)، أو يمكن تعريفها من حيث قيود الجرعة أو الحد القانوني السنوي للجرعة. تتطلب الجرعة المتراكمة عموما معدل جرعة (تعرض لكل وحدة زمنية) ومدة تعرض (زمن) بحيث:

$$\text{الجرعة التراكمية} = \text{معدل الجرعة} \left(\frac{\text{الجرعة}}{\text{الزمن}}\right) \times \text{الفترة الزمنية}$$

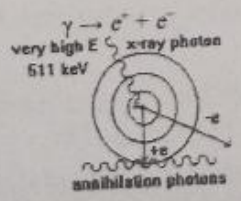
السؤال الثاني: اشرح تشتت كومبتون وتشكيل الزوج بالتفصيل كونهما من تفاعلات الأشعة الكهرومغناطيسية مع المادة مع ذكر الصيغ الرياضية ورسم شكل توضيحي لكل منهما. (10 درجات)

يعد **تشتت كومبتون** بالنسبة للمواد منخفضة Z مثل الهواء والماء والأنسجة البشرية، يحدث تشتت كومبتون بشكل سائد في نطاق طاقة الفوتون حوالي30 MeV–100 KeV، في المواد عالية Z، نطاق الطاقة المهيمنة هو 10 MeV–0.5 MeV. عند تفاعل فوتونات الأشعة السينية أو أشعة جاما مع الذرات، يمكن أن تقذف الالكترونات المرتبطة بشكل فضفاض من أغلفة التكافؤ الخارجية للذرات أو جزيئات الوسائط المشعة (على سبيل المثال، عن طريق تشتت كومبتون) وتحمل معها الطاقة المنقولة إليها عن طريق الفوتون الساقط. **(درجة)** ثم تتفاعل هذه "الإلكترونات الثانوية" مع الوسائط المحيطة، منتجةً المزيد من التأينات بنفس طريقة الأشعة الجسيمية بيتا. يحظى تشتت كومبتون بأهمية خاصة في الفيزياء الطبية العلاجية لأن العديد من خطط العلاج بواسطة شعاع الفوتون يتم تنفيذها في نطاق الطاقة هذا. يتم الحصول على الطاقة الحركية للإلكترون ببساطة عن طريق طرح طاقة الفوتون قبل وبعد التشتت، ويسمى هذا الإلكترون بالإلكترون الارتداد (Recoil Electron) أو إلكترون كومبتون (Compton Electron) **(درجة)**. إذا تفاعلت الفوتونات مع المادة أو أنسجة الجسم، فإن عدداً من الفوتونات تتشتت مع خروج إلكترونات الذرات المكتسبة للطاقة المكونة للمادة أو الأنسجة. ونتيجةً لذلك، يحدث توهين الشعاع (Beam Attenuation). علاوةً على ذلك، يحدث أيضاً تأين الذرات نتيجة لهذا التشتت. طاقة الفوتون الأولي (Initial Photon of Energy) Ei، كمية حركة الفوتون الأولي (Initial Photon of Momentum) Pi، والطول الموجي للفوتون الأولي (Initial Photon of Wavelength) λi. للفوتون الساقط طاقة أعلى بكثير من طاقة ربط الإلكترون. عندما يصطدم الفوتون بالإلكترون، يتلقى الإلكترون بعضاً من طاقة الفوتون الساقط ويتشتت بزاوية θ، بينما ينحرف مسار الفوتون الساقط بطاقة أقل (أو طول موجي اكبر) λf من طاقة الفوتون الساقط وبزاوية مقدارها " كما هو موضح في الشكل (2). تأثير كومبتون هو مثال على التشتت غير المنتظم، لأن طول موجة الفوتون المتشتت يختلف عن طول موجة الفوتون الساقط. ومع ذلك، يعتبر هذا التأثير نتيجةً لتصادم مرن بين الفوتون والإلكترون، بمعنى آخر لا يحدث خسارة للطاقة الحركية بسبب الاصطدام. **(درجة)**



(درجتين على الرسم التوضيحي)

الإنتاج الزوجي يتعرض فوتون الأشعة السينية أو أشعة جاما المار بالقرب من نواة الذرة لتأثيرات مجالية قوية من النواة. قد يختفي الفوتون الساقط فجأة على شكل فوتون ويتحول إلى زوج إلكترون - بوزيترون (Electron Positron Pair) بطاقات حركية تساوي $h\nu - 2m_0c^2$. ينشأ الإلكترون سالب الشحنة (e^-) والبوزيترون موجب الشحنة (e^+) نتيجة تفاعل الفوتون مع المجال الكهرومغناطيسي للنواة في حين يتم الحفاظ على الطاقة والزخم، حيث يعطي جميع طاقته في هذه العملية لإنتاج زوج إلكترون - بوزيترون **(درجة)**. نظراً لأن طاقة السكون للإلكترون والبوزيترون mc^2 هي 0.511 MeV لكل منهما (9.1×10^{-31} kg)، لذلك ما لم يكن هناك ما لا يقل عن 2 × 0.511 MeV (1.022 MeV) فمن غير الممكن إنشاء زوج إلكترون - بوزيترون، ولذا تسمى هذه الطاقة بهذا التفاعل بطاقة العتبة (Threshold Energy). **(درجة)**



(درجتين على الرسم التوضيحي)

السؤال الثالث: أشر بصح أو خطأ مع التصحيح. (5 درجات)

- **يتم حساب الخطر النسبي من خلال حساب إجمالي عدد الأشخاص المصابين بمرض معين متأثرين بالتعرض للإشعاع المؤين. عادةً ما يتم إصلاح الأضرار دون المميتة بعد مرور 24 ساعة من توصيل الإشعاع.**

العوامل	المرض		الإجمالي
	نعم	لا	
المجموعة المعرضة	A	B	A + B
المجموعة غير المعرضة	C	D	C + D
الإجمالي	A + C	B + D	N

خطأ، يتم **حساب RR** من خلال مقارنة نسبة احتمال خطر حدوث تأثير صحي معين (Incidence Proportion) (أو متوسط خطر الإصابة بالمرض) في مجموعة معرضة إلى احتمال حدوث ذلك الموجود في مجموعة مماثلة غير معرضة للإشعاع (Background). **(درجة)**

$$RR = \frac{P_e}{P_u} = \frac{\frac{A}{A+B}}{\frac{C}{C+D}}$$

أو تمثل المخاطر المطلقة (Absolute Risk) إجمالي عدد الأشخاص المصابين بمرض معين متأثرين بالتعرض للإشعاع، أو معدل الإصابة بهذا المرض بين مجموعة سكانية معينة خلال فترة زمنية معينة (يشار إليها عادةً باسم "Person-Years -Gy") (على سبيل المثال، 75 لكل 100.000 من السكان سنوياً **بين المعرضين** أو 25 لكل 100.000 سنوياً بين **غير المعرضين**). يساهم الخطر المطلق بتقدير عبء المرض بين السكان ويقارن فوائد وخطر التعرض.

$$P_e = \frac{A}{A+B}$$

عادةً ما يتم إصلاح الأضرار دون المميتة بعد 2-6 ساعات من توصيل الإشعاع. **(درجة)**

- يتم إعطاء نسبة OER من خلال الجرعة عند الأكسجة مقسومة على الجرعة عند نقص الأكسجة لتحقيق مستوى مختلف من البقاء الخلوي، عند مستويات الجرعة العالية تكون قيمة OER لمعظم أنواع الخلايا في نطاق حوالي 1.

خطأ، يتم إعطاء نسبة تعزيز الأكسجين (Oxygen Enhancement Ratio, OER) من خلال الجرعة عند نقص الأكسجة مقسومة على الجرعة في الهواء لتحقيق نفس مستوى البقاء الخلوي، وعند مستويات الجرعة العالية تكون قيمة OER لمعظم أنواع الخلايا في نطاق حوالي 2.3-3.0. **(درجة)**

- **عتبة العقم الدائم لدى النساء هي جرعة ممتصة حادة تتراوح بين 0.5 Gy .**

خطأ، عتبة العقم الدائم لدى النساء هي جرعة ممتصة حادة تتراوح بين 2.5 Gy – 6 Gy **(درجة)**

- **الجرعة الإشعاعية العتبية للعقم المؤقت لدى الرجل هي حوالي 2 Gy.**

خطأ، الجرعة العتبية للعقم المؤقت الذي يستمر لعدة أسابيع هي حوالي 0.15 Gy **(درجة)**

السؤال الرابع: ما هو الكروموسوم وماهي وظيفته؟ اذكر التغيرات الكروماتيدية التي من الممكن أن يسببها التعرض للإشعاع المؤين (10 درجات)

تتكون الكروموسومات من البروتين، وجزيء واحد من الحمض النووي الريبوزي منقوض الأكسجين (DNA)، الذي يضم المعلومات الوراثية للكائن الحي، التي تنتقل من الآباء إلى الأبناء؛ حيث يلتف الحمض النووي المكون للكروموسوم داخل النواة حول البروتينات التي يُطلق عليها اسم الهستونات، ليكون حلقات تلتف لتكون الكروماتين بالإنجليزية مما يمكن من احتواء الكروموسوم داخل نواة الخلية، وتعد الهستونات عبارة عن بروتينات موجبة الشحنة تشكّل بكرات يمكن لجزيئات الدنا سالبة الشحنة الالتفاف حولها، وهي تلعب دوراً مهماً في تحديد الجين النشط.

إذا تعرضت مجموعة من الخلايا المتكاثرة للإشعاع المؤين، تظهر ثلاثة أنواع من التغير البنيوي في الكروموسوم بشكل أو بآخر مع وصول هذه الخلايا إلى الانقسام التالي، وهو النوع الذي يعتمد على أي جزء من دورة الخلية تلقى جرعة الإشعاع. تسمى هذه الأنواع بالتغيرات تحت الكروماتيدية والكروماتيدية والكروموسومية.

يبدو أن الخلايا التي تم تشعيع نواتها في S قد تظهر، في الانقسام التالي، انحرافات صبغية وكروماتيدية، وهو النوع المستحث ربما يعتمد على ما إذا كانت مواقع الكروموسوم المتأثرة نفسها قد مرت S.

- **فواصل كروماتيدية** (Chromatid Breaks) (الشكل 25c ،b) (نزع الكروماتيد أو نزاع الكروماتيد، مع اختلال المحاذاة، و يشار إلى أنه المنطقة غير الملونة التي تكون أوسع من عرض الكروماتيد).

- بينما يكون البعض الآخر عبارة عن تبادلات كروماتيدية متبادلة (Reciprocal Chromatid Exchanges) (الشكل 25d, e, f, g, h).

بالإضافة إلى ذلك، يتم ملاحظة أشكال أخرى من الانحرافات الصبغية في بعض الأحيان؛ يتم تسجيلها ولكن لا يتم تضمينها في التحليل لأنها لا تنطوي بالضرورة على كسر الكروموسوم.

- **الفجوات (Gaps)** (نزع الكروماتيد (Dislocation Chromatid) أو الذراع الكروموسومي (Dislocation Chromosome Arm) مع الحد الأدنى لاختلال المحاذاة أو مع عدم وجود اختلال في المحاذاة. في كثير من الأحيان، يشار إلى الفجوات على أنها آفات غير ملونة (Achromatic Lesions) على الكروموسومات/الكروماتيدات، أصغر من عرض كروماتيد واحد (الشكل 25a). يمكن العثور على الفجوات الكروماتيدية في كلا الكروماتيدين الشقيقين (مزدوجة Double) في نفس الموقع (Locus) أو في كروماتيد واحد فقط (مفردة Single).

- **الكروموسوم المسحوق** (Pulverized Chromosome)/الطور الاستوائي (الخسارة الكاملة للسلامة البنيوية للكروموسوم).

- **تعدد الصيغة الصبغية** (Polyploidy) و/أو أشكال أخرى من اختلال الصيغة الصبغية (Aneuploidy). يعد اختلال الصيغة الصبغية للكروموسوم الكامل سمة رئيسية لجينومات السرطان.

السؤال الخامس: اشرح التأثير المباشر و غير المباشر للإشعاع المؤين على المادة الحية مع إدراج المعادلات **(10 درجات)**

التأثير المباشر: يحدث تلف الحمض النووي المباشر عندما يؤدي امتصاص الذرة للفوتون إلى إطلاق إلكترون (إلكترون ثانوي) يتفاعل بعد ذلك مباشرة مع جزيء الحمض النووي، أو بعض المكونات الخلوية الأخرى المهمة لبقاء الخلية (Survival of The Cell). قد يؤثر مثل هذا التفاعل على القدرة التكاثرية للخلية، وبالتالي البقاء على قيد الحياة.ونظراً لكتلة الإلكترونات الصغيرة فإنها تنتشر (تزاح عن مسارها الأصلي) بسهولة أكبر ومن خلال زوايا أكبر من الجسيمات الأثقل مثل البروتونات. كما يمتلك الإلكترون كتلة أقل بكثير من كتلة جسيم ألفا، مما يسهل رفع سرعته إلى أعلى مستوى ممكن. يكون التأثير المباشر سائداً عند الإشعاع العالي LET (الجسيمات المشحونة). **(درجتين)**

التأثير غير المباشر: تولد التأثيرات غير المباشرة أيونات حرة و جذوراً حرة (Free Radical) من خلال تفاعلها مع الجزيئات الخلوية مثل الماء، المكون الرئيسي للخلية، والجزيئات العضوية في الخلية، حيث يتم إنتاج الجذور الحرة مثل الهيدروكسيل ($HO^{\cdot}$) والألكوكسي ($RO_2^{\cdot}$) مما يؤدي إلى تلف الحمض النووي. يكون التأثير غير المباشر سائداً عند الإشعاع المنخفض LET (أشعة X وأشعة جاما). **(درجتين)**

عند التشعيع، تتأين جزيئات الماء وفق خطوتين: **(1 درجة لكل معادلة)**

$$H_2O + \text{Radiation} \rightarrow H_2O^+ + e^-$$

$$e^- + H_2O \rightarrow H_2O^-$$

ومع ذلك، فإن جزيئات الماء المشحونة غير مستقرة، لها عمر أقل من 10^{-15} ثانية، تنفصل على الفور تقريباً إلى أيون أصغر وجذر حر:

$$H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH^{\cdot}$$

$$H_2O^- \rightarrow H^{\cdot} + OH^-$$

(ترمز النقطة إلى إلكترون حر في الجذر الحر OH)

وبالتالي فإن الجذور الحرة المنتجة تكون شديدة التفاعل وتنتشر من خلال نظام المذيبات وتتفاعل بطريقة عشوائية إلى حد ما مع الجذور الحرة الأخرى والجزيئات الأخرى المتضررة بسبب الإشعاع، أو الأهم من ذلك، مع الجزيئات المذابة السليمة التي لم تتغير سابقاً بسبب الإشعاع. قد تنتج تفاعلات الجذور الحرة أيضاً أنواعاً كيميائية أخرى أكثر أو أقل تفاعلية، مثل H_2 وH_2O_2 وHO_2، وقد تتفاعل مع الأكسجين لتعزيز تأثير الإشعاع، أو قد تتفاعل مع الجزيئات العضوية مما يؤدي إلى تكوين الجذور الحرة العضوية:

$$H_2O^- + RH \rightarrow R^{\cdot} + H_2O_2$$

$$RH + HO_2 \rightarrow RO^{\cdot} + H_2O$$

وتسمى هذه الظاهرة الأخيرة تأثير الإشعاع غير المباشر. إذا كان RH جزيئاً مهماً (على سبيل المثال، DNA وRNA)، فيمكن أن تؤثر هذه التفاعلات على وظائف الخلية.

السؤال السادس: (3 درجات)

- احسب القيم التالية في الوحدات الدولية المعيارية. 50 **µRAD** = 0.5 µGy ،200 **mRAD** = 2 mGy
5 **RAD** = 0.05 Gy ،3 **µREM** =0.03 µSv ،0.7 **mREM** = 0.007 mSv
REM= 0.02 Sv (**0.25 درجة لكل جواب**)
- احسب تدفق النيوترونات الناتج عن مصدر نيوتروني يصدر 3×10^{10} نيوترون/ثانية، وذلك على مسافات 0.3 m ،1 m ،10 m. **(0.25 درجة لكل جواب)**.

$$\varphi = \frac{3 \times 10^{10}}{4\pi 0.3^2} = 2.653 \times 10^{10} \text{ نيوترون/ثانية.} cm^2$$

$$\varphi = \frac{3 \times 10^{10}}{4\pi 1^2} = 0.24 \times 10^{10} \text{ نيوترون/ثانية.} cm^2$$

$$\varphi = \frac{3 \times 10^{10}}{4\pi 10^2} = 2 \times 10^{7} \text{ نيوترون/ثانية.} cm^2$$

- إذا كان التأثير الناتج عن جرعة مقدارها 0.2 Gy من النيوترونات البطيئة في عضو ما يعادل تماماً التأثير الناتج عن جرعة مقدارها 1.0 Gy من إشعاعات γ عند الطاقة المعينة فما هو RBE. **(0.25 درجة)**.

$$RBE = 0.2/1.0 = 2$$

- إذا علمت أن الجرعة الفعالة السنوية المتوسطة الناتجة عن تعرض كافة البشر لإشعاعات جاما المنبعثة من الأرض هي 0.46 mSv. احسب الجرعة الفعالة الجماعية لسكان الكرة الأرضية الناتجة عن هذا النوع من التعرض الطبيعي إذا علمت أن تعداد سكان العالم 6 آلاف مليون نسمة. **(0.5 درجة)**.

$$E = 0.46 \times 6 \times 10^9 = 2.76 \text{ mSv}$$

السؤال السابع: علل مايلي بشكل واضح ومفصل. **(10 درجات)**

- **وجود حد أقصى للجرعات السنوية للعاملين في مجال الإشعاع ولعامة الجمهور. (درجتين)**

يتعلق حد الجرعة الفعالة (يشار إليها أحياناً بجرعة الجسم بالكامل) بمخاطر الإصابة بالسرطان، في حين أن حدود الجرعة المكافئة مصممة لضمان إبقاء الجرعات الفردية أقل من عتبات الجرعة لتحقيق تأثيرات حتمية. حدود الجرعة الفعالة الإشعاعية لعامة الناس 1 mSv في السنة، بينما للعاملين في الممارسات الإشعاعية هي 20 mSv في السنة. جرعة مكافئة تتلقاها عدسة العين مقدارها (150) ملي سيفرت في السنة.

- **إدخال مفهومي الجرعة الممتصة والجرعة الفعالة ككميات فيزيائية في البيولوجيا الإشعاعية. (درجتين)**

تعكس الجرعة الممتصة الطاقة الإشعاعية الممتصة المودعة لكل وحدة كتلة من عضو او نسيج وليس الطاقة الكلية، وتستخدم في دراسات الضرر الذي يلحق بعضو أو نسيج معين. وحدة النظام الدولي للوحدات هي Gray (Gy)

تستخدم الجرعة الفعالة E (Sv) لتقدير الضرر الإشعاعي البيولوجي، والتي تأخذ في الاعتبار الاختلافات في الحساسية الإشعاعية للأعضاء والأنسجة، والاختلاف في الفعالية البيولوجية لأنواع مختلفة من الإشعاع (جودة الإشعاع).

- **اختلاف الحساسية الإشعاعية للخلايا والأنسجة والأعضاء. (درجتين)**

تميل الخلايا المنقسمة بشكل نشط والتي تكون أقل تمايزا إلى إظهار حساسية إشعاعية أعلى. على سبيل المثال، يتم تمييز الخلايا الجذعية المكونة للدم في نخاع العظم إلى خلايا دم مختلفة، بينما تنقسم بشكل نشط. الخلايا المكونة للدم غير الناضجة (غير المتمايزة) التي انقسمت (تكاثرت) من الخلايا الجذعية حساسة للغاية للإشعاع وتموت بسبب كمية صغيرة من الإشعاع بسهولة أكبر من الخلايا المتمايزة. ومن ناحية أخرى، من المعروف أن الأنسجة العصبية والأنسجة العضلية، التي لم تعد تخضع لانقسام الخلايا في مرحلة البلوغ، مقاومة للإشعاع.

- **يمكن أن يتسبب الإشعاع المؤين في تكوين النوى الصغيرة MN. (درجتين)**

من المعروف أن الإشعاع المؤين يسبب أضرارا سمية جينية للحمض النووي والكروموسومات والنواة. بالنظر إلى أن أنواع الأكسجين التفاعلية (ROS) متورطة في كسر الحمض النووي الناجم عن الإشعاع المؤين والانحرافات الصبغية. تنشأ النوى الصغيرة من الكروموسومات المتأخرة أو شظايا الكروموسوم الناتجة عن الأخطاء الانقسامية أو تلف الحمض النووي

- **ترتبط التأثيرات الحتمية (أو تفاعلات الأنسجة) للإشعاع المؤين مباشرة بجرعة الإشعاع الممتصة. (درجتين)**

ترتبط التأثيرات الحتمية (أو تفاعلات الأنسجة) للإشعاع المؤين مباشرة بجرعة الإشعاع الممتصة وتزداد شدة (Severity) التأثير (بدلاً من الاحتمالية Probability) مع زيادة جرعة التعرض. عادةً ما يكون للتأثير الحتمي عتبة (0.1 Gy أو أعلى) لا يحدث التأثير تحتها وفوقها تكون التأثيرات على العضو أو النظام البيولوجي ملحوظة سريرياً. تصف التأثيرات الحتمية علاقة السبب والنتيجة بين الإشعاعات المؤينة وبعض الآثار الجانبية.