الإشعاع ما له وما عليه*

د. مجدى عبدالله حامد**

الإشعاع ومصادره :

أصبحت الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية من سمات العصر الحالى (عصر التكنولوجيا)، ولاشك أنه لمجرد سماعنا كلمة إشعاع ذرى ينتابنا الخوف والفزع لأن هذه الكلمة ترتبط فى أذهاننا بالهلاك والدمار الذى أحدثته القنبلتان الذريتان اللتان ألقاهما الأمريكان على مدينتى هيروشيما وناجازاكى باليابان، وكذلك حادثة انفجار مفاعل تشيرنوبل بالاتحاد السوفييتى سابقا، وتتضمن كلمة إشعاع كل من الأشعة المؤينة التى تؤين الوسط الذى تمر فيه مما يحدث خللا فى الخلايا الحية وتشمل إشعاع جسيمات ألفا وبيتا أما أشعة جاما والأشعة السينية فهى موجات كهرومغناطيسية تحمل طاقة عالية؛ والأشعة غير المؤينة وهى موجات كهرومغناطيسية أيضا مثل الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء، الضوءالمرئى، وموجات الراديو والميكروويف.

---

* هذه مجموعة مقالات عن الإشعاع ماله وما عليه نشرت للدكتور مجدى عبدالله حامد فى صحف الأهرام اليومى، الأهرام العربى، والعالم اليوم.

** الأستاذ المتفرغ بهيئة الرقابة النووية والإشعاعية.

والإشعاع يوجد فى كل مكان من حولنا فمصادره الطبيعية كثيرة كالأشعه الكونية وهي الأشعة التي تفد إلينا من الفضاء المحيط بالكرة الأرضية ومصدرها المجرات والشمس، وتختلف كميتها باختلاف ارتفاع المكان عن سطح البحر وباختلاف الموقع الجغرافي، حيث يقل مقدارها في الأماكن القريبة من سطح البحر وتزداد كلما ارتفعنا عنه، وتجدر الإشاره إلى أن الغلاف الجوي يعتبر حاجزا واقيا من الأشعه الكونية؛ والإشعاعات الناتجة من التربة حيث تحتوي القشرة الخارجية للكره الأرضية على كميات ضئيلة من عناصر مشعة مثل اليورانيوم والثوريوم، ويختلف تركيز العناصر المشعة بالتربة باختلاف نوعها فنجد أن تركيزها يقل في التربة الرملية ويزداد بالصخور الجرانيتيه؛ ومواد مشعة موجودة بالمياه حيث ينتشر كثير منها في مختلف أنواع المياه ويعتمد ذلك على نوع ومصدر المياه، فمياه البحار تحتوى على أعلى تركيز لمادة البوتاسيوم ٤٠، أما المياه الجوفية الفوارة فتزداد فيها نسبة الرادون، ويعتبر اليورانيوم أكثر العناصر المشعة التي توجد في المياه الجوفية، كما أن من أكثر العناصرالمشعة التي تتواجد في المياه الجوفية غاز الرادون وهو غاز عديم اللون والطعم والرائحة وله نصف عمر قصيراً جداً يبلغ حوالي (٣.٨ يوم).

وأخيرا المواد المشعة الموجودة في الطعام وداخل جسم الإنسان حيث توجد بعض العناصر المشعة الطبيعية مثل الكربون ١٤ والبوتاسيوم ٤٠ في طعام الإنسان وداخل جسمه، ويوجد بجسم الإنسان أيضا الراديوم ٢٢٦ والبولونيوم ٢١٠ والاسترونشيوم ٩٠، وتختلف كمية الإشعاع من عضو لآخر بجسم الإنسان فمثلا تزداد كمية الإشعاعات الطبيعية في الرئة عنها في نخاع العظام، وتجدر الإشاره إلى أن رئات المدخنين تحتوي على قدر أكبر من المواد المشعة وذلك بالمقارنة برئات غير المدخنين ويعتبر ارتفاع نسبة المواد المشعة في رئة المدخن من أهم أسباب الإصابه بسرطان الرئة. ومن الجدير بالذكر أن بعض الباحثين قد فسروا ظاهرة "لعنة الفراعنة" بأنها تحدث نتيجة لتعرض الأشخاص الذين يفتحون المقابر الفرعونية لأول مرة لجرعة مكثفة من غاز الرادون المشع.

والجدير بالذكر أن مصر قد بدأت مسيرتها النووية عام ١٩٥٥ بإنشاء لجنة الطاقة الذرية، وفي عام ١٩٥٧ تم إنشاء مؤسسة الطاقة الذرية، واشتراك مصر عضواً مؤسسا بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، وقد قامت مصر بتشييد مفاعلين بمنطقة إنشاص الأول عام ١٩٦١ بقدرة ٢ ميجاوات للأبحاث العلمية، والثانى عام ١٩٩٨ بقدرة ٢٢ ميجاوات بغرض إنتاج النظائر المشعة، وبسبب زيادة عدد السكان والحاجة لمصادر للطاقة والمياه الضرورية للتنمية وتحديث المجتمع، وعدم توافر الفحم وارتفاع التكاليف الاستثمارية لمحطاته وكذلك القيود البيئية علي استخدامه ومحدودية الاحتياطات البترولية، وأيضا مشاركة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بنسبة ضئيلة في احتياجات الطاقة والتى لا تزال في مراحل التطوير فقد وقعت مصر وروسيا فى ديسمبر ٢٠١٧ الاتفاق التنفيذى لبناء المحطة النووية بالضبعة بقوة ٤٨٠٠ ميجاوات وذلك لبناء أربعة مفاعلات من الجيل الثالث plus بقوة ١٢٠٠ ميجاوات للمفاعل الواحد وهو أحدث مفاعلات القوى الأكثر أمانا على مستوى العالم ليبدأ البناء فى المفاعل الأول لإنتاج طاقة نظيفه (صفر كربون) صديقه للبيئة لا تنضب حيث تعتبر مصر من الدول المؤهلة لاستغلال التقنيات النووية لما لها من قاعدة علمية نووية وهيئات متخصصة مثل هيئة الطاقة الذرية وهيئة المواد النووية وهيئة المحطات النووية لتوليد الكهرباء. .

الإشعاع ودوره فى التنمية والبيئة :

وللإشعاع استخدامات عديدة وتطبيقات متعددة فى شتى مجالات التنمية الحيوية وخدمة المجتمع بالرغم من العواقب الوخيمة التى يسببها إذا أسئ استخدامه أو فقد الإنسان التحكم فيه، فيشتمل دور الإشعاع فى مجال التنمية الطبية على استخدام النظائر المشعة والصيدلانيات المشعة فى التشخيص والعلاج كاليود ١٣١ الذى يستخدم فى علاج أمراض الغدة الدرقية، والفوسفور ٣٢ الذى يستخدم فى علاج الأمراض السرطانية وسرطان العظم والجلد، التصوير بالأشعة السينية، علاج الأورام السرطانية بالإشعاع الجامى، الكشف المبكر على الأورام السرطانية باستخدام دلالات الأورام ، تعقيم العبوات

الدوائية والأدوات الجراحية والأربطة والغيارات ومرشحات الكلى ومراهم العيون ومساحيق التجميل وكذلك الأدوات الطبية أحادية الاستخدام مثل القطن الطبى والقفازات والسرنجات البلاستيكية وغيرها من المنتجات الطبية فهى التكنولوجيا الوحيدة المستخدمة لتعقيم المواد والأدوات التى تتأثر بالحرارة فضلا عن أنها لا تؤثر على البيئة ولا تؤدى إلى تلوثها.

أما عن دور الإشعاع فى مجال التنمية الصناعية فنجد أن هناك أكثر من ٤٠٠ معجل الكترونى على مستوى العالم من ضمنها مصر تستخدم فى العديد من التطبيقات الصناعية كتحسين الألياف الصناعية، وأيضا يستخدم الإشعاع فى عملية اكتشاف آبار البترول والمناجم والثروات المعدنية الأخرى وكذلك التحقق من كفاءة التكرير الأولى فى صناعة البترول، وأيضا تستخدم تكنولوجيا التشعيع فى تحضير واستنباط أغشية صناعية من البوليمرات المختلفة لاستخدامها فى بعض التطبيقات الصناعية المتقدمة وتطوير مواد مطاطية جديدة تقدم فوائد بارزة للصناعات على مستوى العالم وهى التكنولوجيا المسماة بالتقسية الإشعاعية للمطاط الطبيعى. كما تستخدم المصادر المشعة فى قياس سمك الصفائح المعدنية وقياس كثافة المواد المنقولة عبر الأنابيب العملاقة وكذلك الكشف عن تسرب السوائل من الأنابيب، وتستخدم أيضا فى اقتفاء الأثر مثل مواقع التسرب من أنابيب النفط أو المياه، وتم استخدام الإشعاع فى استنباط وتحضير هيدروجيلات مناسبة ومدعمة تحتوى على مواد بوليمرية مختلفة تم استخدامها فى التكنولوجيا الحيوية وفى المجالات الطبية كصناعة الأجهزة التعويضية مثل الأوردة والشرايين وصمامات القلب وفى مجال الغسيل الكلوى بالأغشية الصناعية الحيوية.

وعن دوره فى مجال التنمية الزراعية فيشمل عمليات تعقيم الحشرات بالإشعاع للقضاء على الأنواع الضارة منها، واستحداث طفرات محصوليه جديدة عالية الإنتاج ومقاومة للآفات وحفظ الأغذية بالتشعيع حيث يتم القضاء على الميكروبات والفطريات المفرزة للسموم مما يطيل فترة الحفظ والتسويق مع ضمان الجودة العالية دون استخدام المبيدات أو المواد الحافظة الكيماوية الضارة مما يشجع على التصدير فضلا عن ان ذلك

له دور إيجابى على البيئة وهذه التطبيقات تعرف بما يسمى بالتكنولوجيا النظيفة التى لا ينتج عنها مخاطر للإنسان وبيئته.

وعن الدور الإيجابى للإشعاع فى مجال البيئة نجد منه على سبيل المثال المعالجة الإشعاعية لتنقية الغازات المنبعثة من المحطات الحرارية لتوليد الكهرباء وإزالة الكبريت من الغاز الطبيعى قبل نقله عبر خطوط الأنابيب، تطهير وتعقيم نفايات المستشفيات ومعالجة النفايات الدولية فى المطارات والموانى لمنع انتقال كوارث العدوى بالفيروسات والميكروبات الوبائية وأيضا استخدامه فى معالجة مياه الصرف الصحى.

وفى خلال الفترة التى تعدت الستون عاما منذ بدأ المسيره النووية تمكنت مصر من تحقيق عدد من الإنجازات العلمية والبحثية في مجالات الاستخدامات السلمية للطاقة النووية لمقاومة الحشرات الزراعية بتعقيمها بالإشعاع للقضاء على الأنواع الضارة منها، واستحداث طفرات محصوليه جديدة عالية الإنتاج ومقاومة للآفات، ونظرا لأن حفظ الأغذية بالتشعيع الجامى أصبح الآن من الأمور الثابتة علميا وعمليا بعد أن أجازته المنظمات العالمية المسئولة عن الغذاء وسلامته مثل منظمة التجارة العالمية ومنظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة فقد أجازت مصر تشعيع جميع أنواع التوابل والأعشاب الطبية والبصل المجفف والثوم المجفف وأيضا محاصيل البطاطس والبصل والثوم الطازجة من أجل منع التزريع، كذلك تشعيع الحبوب من أجل القضاء على الحشرات والآفات التى تصيبها، وقد أفتتحت مصر فى عام ١٩٨٥ صالة التشعيع الجامى الأولى بموقع هيئة الطاقة الذرية بمدينة نصر، وفى العام قبل الماضى تم افتتاح وحدة التشعيع الجامى الثانية فى الاسكندرية نظراً للطلب المستمر والمتزايد علي خدمة التشعيع الجامى من منطقة الإسكندرية والمناطق المجاورة بغرض زيادة التصدير وتحقيق أهداف الدولة في زيادة العائد الإقتصادي من العملات الصعبة.

الإشعاع ودوره فى توليد الكهرباء :

إن قطاع الكهرباء فى أى دولة يعتبر من الركائز الأساسية في تنمية العديد من المجالات الحيوية، فالكهرباء أحد مقايس تقدم ورفاهية الشعوب، وفي مصر تزداد الحاجة للطاقة الكهربية للوفاء بمتطلبات التنمية حيث تمتلك مجموعة من محطات توليد الكهرباء المائية والحرارية وبعض مزارع الرياح، وقد أصبح الاهتمام ضروريا بمصادر الطاقة النظيفة كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، إلا أن الاتجاه للطاقة النووية في توليد الكهرباء أصبح ضرورة حتمية، فهي أحد التكنولوجيات المتقدمة لتوليد الكهرباء حيث تستخدم المفاعلات النووية فى توليد الحرارة نتيجة انشطار ذرات اليورانيوم بضربات النيوترونات وتستغل هذه الطاقة الحرارية الهائلة في غليان المياه في المراجل وتحويلها إلى بخار ذات ضغط عال ودرجة حرارة عالية والتي تستخدم بعد ذلك في التوربينات البخارية والمولدات لإنتاج الكهرباء.

والطاقة النووية تزود دول العالم بأكثر من ١٦% من الطاقة الكهربائية، وتمد دول الاتحاد الأوروبي بنسبة ٣٥% من احتياجاته، واليابان وأمريكا بنسبة ٣٠% و ٢٠% من احتياجاتهما، بينما نجد فرنسا تحصل على ٣٥% من احتياجاتها من المحطات النووية.

والطاقة النووية تحتاج لكمية صغيرة من الوقود فكل ١ كجم من اليورانيوم ينتج طاقة كالتي ينتجها ٤٥٠٠ طن من الفحم، فطن واحد من اليورانيوم يقوم بتوليد طاقة كهربائية أكبر من ملايين من براميل البترول أو ملايين الأطنان من الفحم، ولا تطلق غازات ضارة في الهواء كغازات ثانى أكسيد الكربون أو أكسيد النتروجين أو ثاني أكسيد الكبريت التي تسبب الاحتباس الحرارى والمطر الحمضي والضباب الدخاني، ونظراً لصغر كمية الوقود فإن تكلفة التشغيل والنقل أيضا صغيره جدا، فنجد أن تكلفة الكيلووات ساعة المنتج من المحطات النووية ١.٦٨ سنت بينما نجده من محطات الفحم والغاز الطبيعى والبترول والشمس والرياح ١.٨٠، ٦.٠٨، ٤.٩٠، ٢.١٠، ١.٢٠ سنت على التوالى، ونجد

معامل السعة للمحطة النووية (النسبة بين كمية الطاقة الكهربية المولدة الى كمية الطاقة التصميمية لها فى السنة ٩٠%) بينما نجده ٧٠% لمحطات الفحم، ١٤-٥٠% لمحطات الغاز الطبيعى، و ٢٥% للمحطات المائية والرياح، وتشغل المحطات النووية مساحات صغيرة من الأرض مقارنة بمحطات الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح لذا فالفوائد الصافية لمحطات الطاقة النووية تفوق بكثير صافي فوائد التقنيات الاخرى من حيث التكلفة، مع تكنولوجيا الطاقة منخفضة الكربون، وينظر العلماء إلى الطاقة النووية كمصدر حقيقي للطاقة نظيف صديق للبيئة ولا ينضب.

الإشعاع ودورة فى تحلية المياه :

يعتمد ما يقرب من ١% من سكان العالم حاليا على المياه المحلاة لتلبية الاحتياجات اليومية إلا أن الأمم المتحدة تتوقع أن يواجه ١٤% من سكان العالم ندرة المياه بحلول عام ٢٠٢٥ خاصة في أمريكا اللاتينية وأفريقيا والشرق الأوسط وجنوب شرق آسيا، ووفقا للوكالة الدولية للطاقة الذرية فإن حجم الأسواق العالمية لتحلية المياه وصل إلى ١٢ مليار دولار حيث يوجد نوعان من التقنيات للتحلية وهما: الغشائية أو الترشيح (التناضح العكسي) وهي تعمل بالكهرباء، والحرارية (التقطير) ويستخدم فيها الوقود الأحفورى أوالمفاعلات النووية وتسمح هذه الطريقة بالحصول على أكبر حجم من المياه العذبة خلال وحدة قياسية من الوقت، وينتشر أكثر من ١٨ ألف محطة على مستوى العالم معظمها في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا ومعظمها يستخدم الوقود الأحفوري مما يسهم في زيادة انبعاثات غازات الدفيئة.

وللإشعاع دور فى تحلية المياه على العديد من السفن والغواصات البحرية وذلك باستخدام مفاعلات نووية صغيرة لتزويد تلك السفن والغواصات بالكهرباء ومرفق نووى لتزويد الأطقم العاملة عليها بإحتياجاتهم من المياه العذبة، وتستخدم الطاقة النووية فى تحلية مياه البحر على نطاق واسع فى اليابان حيث تم تجهيز بعض محطاتها النووية

بمحطات تحلية مياه البحر لتوفير المياه عالية الجودة لمياه تغذية المراجل وكذلك للاستخدامات الأخرى، وبالمثل أقيمت في باكستان والهند محطة لتحلية مياه البحر في المحطات النووية لتلبية الاحتياجات التشغيلية العادية للمحطة، بالإضافة إلى توفير مصدر مستقل لمياه تغذية الطوارئ لمولد البخار.

ووفقا للوكالة الدولية للطاقة الذرية فقد وضعت الأرجنتين والصين وكوريا الجنوبية وكندا تصاميم مفاعلات نووية صغيرة خصيصا لتوليد الكهرباء والمياه العذبة على السواء، واضافت الوكالة ان تكنولوجيا المفاعلات الصغيرة قد تكون مفتاح توسيع نطاق تحلية المياه النظيفة باستخدام الطاقة النووية، وبالرغم من زيادة تكاليف إنشاء المحطة النووية فإن سعر المياه الناتجة أرخص منها باستخدام الوقود الأحفورى.

وذكرت الوكالة انه من أجل توسيع نطاق تحلية المياه بالطاقة النووية، يتعين الوفاء بمتطلبات اضافية تشمل المسائل التقنية تلبية متطلبات السلامة الأكثر صرامة على وجه التحديد لمحطات التحلية النووية وتحسين أداء النظم المتكاملة، ومن العوامل الهامة الأخرى التي يجب مراعاتها في نشر تحلية المياه على نطاق أوسع القدرة التنافسية الاقتصادية مقارنة بالخيارات الأخرى مثل محطات توليد الطاقة المشتركة التي تعمل بالوقود الأحفورى، كما قالت الوكالة ان جيلا جديدا من محطات الطاقة النووية الصغيرة والمتوسطة الابتكارية يمكن ان يعمل على توليد الكهرباء والمياه الصالحة للشرب باسعار آمنة وبأسعار تنافسية.

ولذلك فإن روسيا بدأت فى تطوير تصميم محطات للطاقة النووية مع مرفق لتحلية المياه، ويعتقد ان محطة تحلية المياه فى محطة طاقة نووية ذات قدرة كبيرة مع مفاعلات الماء المضغوط (VVER) التى توفرها روسيا ستكون قادره على انتاج ما يصل الى ١٧٠ الف متر مكعب من المياه العذبة يوميا من وحدة طاقة نووية واحدة وهذا وفق تصريح شركة روس آتوم.

الإشعاع ودوره فى التأريخ :

إن معرفة عمر الأشياء وإرجاعها إلى تاريخها الصحيح كان من أهم المتطلبات لعلوم كثيرة فلا غنى عنه في الجيولوجيا ولا في علوم الآثار أو المناخ والطقس أو حتى في علوم الفضاء، وأيضا لمعرفة البيئة التى تكونت أو عاشت فيها هذه الأشياء؛ وتعتبر النظائر المشعّة من أهم الطرق المستخدمه فى تحديد الأعمار (التأريخ) وأدقها وهو ما يعرف بالطريقة الاشعاعية.

وتعتمد هذه الطريقة على ظاهرة طبيعية معروفة هي ظاهرة التفكك أو الانحلال التلقائي لبعض العناصر الطبيعية، حيث أن التفكك التلقائي لهذه العناصر يحدث بمعزل عن أي مؤثر خارجي بنفس النسبة على الأرض أو في الكون دون أن تتأثر سرعة حدوث التفكك بدرجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة، الحت، التعرية أو أي شكل من الظواهر المعروفة.

ويوجد طرق عديدة للقيام بذلك اعتمادا على نظام نظائري مختلف من طريقة لأخرى، فنواة ذرات العنصر الواحد تحتوى على البروتونات وهى متساوية لنفس ذرات العنصر الواحد، وتحتوي أيضا على النيوترونات وأعدادها تختلف من ذرة لأخرى لنفس العنصر، وتسمى هذه الذرات بالنظائر المشعة لنفس العنصر، ويتحول جزء من العنصر المشع إلى عنصر أو أكثر جديد يعرف بالعنصر الابن عن طريق الإضمحلال النووي، وقد يكون العنصر الناتج هو الآخر مشعا فيبدأ في التحلل لإنتاج جيل ثالث من المواد لتتكون سلسلة من العناصر المتحللة إشعاعيا، أو قد يكون عنصر ثابت ولا يحدث له مزيد من التحلل.

فكل عنصر له معدل ثابت يتحلل به يعرف باسم فترة نصف العمر، وهي الفترة الزمنية اللازمة لتحول نصف عدد الذرات أو نصف الكمية الموجودة من العنصر

الأصلي إلى العنصر الابن، ويتسم كل نظير مشع بنصف عمر مميز له، ونجد أنواع نظائر مشعة يبلغ نصف العمر لها ثوانٍ أو أقل وأخرى يبلغ عمر النصف لها آلاف السنين وأخرى قد تصل لملايين السنين.

وبالاعتماد على فترة نصف العمر أمكن استخدام النظائر المشعة كساعات دقيقة لقياس الفترات الزمنية المختلفة، ومن أدقها وأشهرها التأريخ باستخدام الكربون المشع والتى تستخدم لتحديد تأريخ بقايا النباتات القديمة أو الحيوانات أو الكائنات البشرية حيث يتشكل الكربون المشع C14 في طبقات الجو نتيجة لتفاعل الأشعة الكونية الحاوية على النترونات مع نيتروجين الجو لينتج الكربون المشع، ونتيجة لتفاعلات التبادل التي تقوم بها ذرة الكربون المشعة مع ذرة كربون عادية (غير مشع – كربون ١٢) ضمن جزيء ثاني أكسيد الكربون تتشكل جزيئات ثاني أكسيد كربون مشعّة والتى تدخل في أجسام الكائنات الحيّة كلها ابتداءً بالنباتات التي تستخدمه في عملية التمثيل الضوئي وانتهاءً بالحيوانات فالبشر، وتستخدم هذه الطريقة لحساب أعمار الكائنات التي تعود إلى ٥٠٠٠٠ سنة، أما جهاز معجل الجسيمات فيستخدم لحساب أعمار الكائنات التي يصل عمرها إلى ٦٠٠٠٠ سنة .

وفيما يتعلق بتحديد الأعمار التي تعود الى أزمنة سحيقة فتستخدم ساعات نووية أخرى مثل ساعات : **اليورانيوم ٢٣٥ – رصاص٢٠٧** وهى واحدة من أقدم وأشهر طرق التأريخ الإشعاعي، وتعتمد هذه الطريقة على سلسلتى تحلل منفصلتين، سلسلة اليورانيوم من U٢٣٨ إلى Pb٢٠٦، مع عمر نصف يبلغ ٤.٤٧ مليار سنة؛ وسلسلة الأكتينيوم من U٢٣٥ إلى Pb٢٠٧ مع عمر نصف يبلغ ٧١٠ مليون سنة، ويمكن استخدامها لتأريخ الصخور التي تشكلت وتبلورت من حوالي مليون سنة إلى ما يزيد عن ٤.٥ مليار سنة مضت مع الدقة الروتينية في نطاق ٠.١ – ١ %.

البوتاسيوم ٤٠ – أرجون ٤٠ وهذه الطريقة تستخدم في علم التأريخ الجيولوجي وعلم الآثار، وهى تستند إلى قياس ناتج التحلل الإشعاعي لنظير البوتاسيوم (K) إلى الأرجون (Ar)، وكان لها دور أساسي في تطوير المقياس الزمني للقطبية المغناطيسية الأرضية فقد تم معايرته باستخدامها.

الروبديوم ٨٧ – استرنشيوم ٨٧ ويتم استخدامها على نطاق واسع في تأريخ الصخور الأرضية والقمرية والنيازك وبها أمكن قياس البصمة الجيولوجية للكائنات أو الهياكل العظمية.

وقد استخدمت جميع هذه الطرق في تحديد عمرالأرض والصخور القديمة وحتى القمر والمذنبات والمجموعة الشمسية.