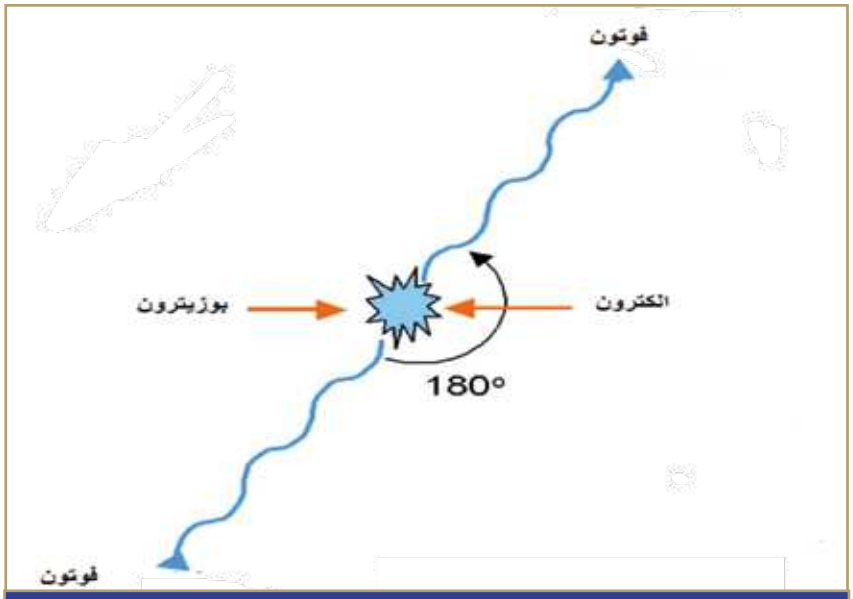
كاميرا البوزيترون
إحدى ثمار تطور علم الضوء

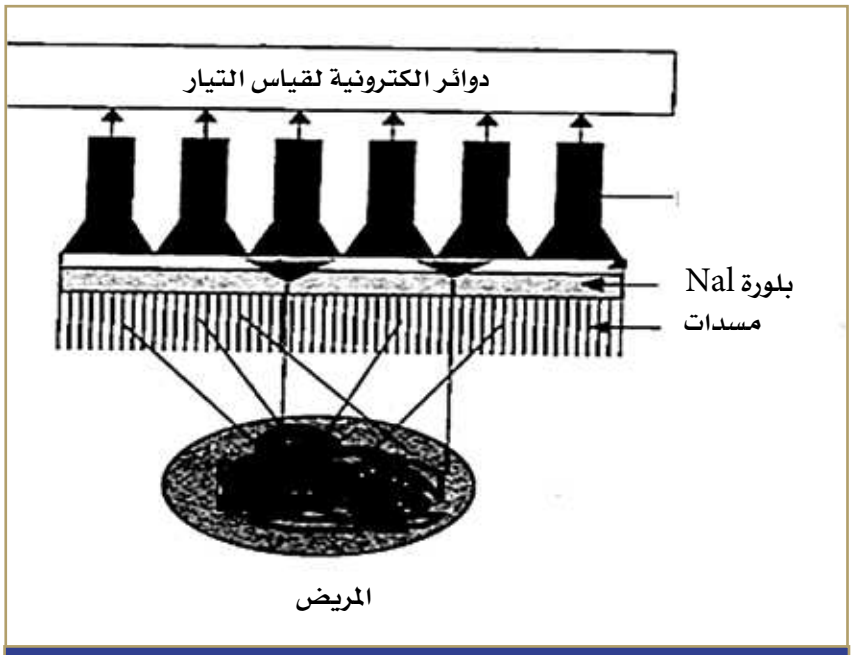
د. فخري حسن *

تنبأ الفيزيائي الإنكليزي بول ديراك نظرياً عند دراسته في عام 1928 لحركة الإلكترونات السريعة في المجال المغنطيسي (باستخدام نظرية الكمية النسبية) بوجود إلكترون موجب الشحنة الكهربائية، ولم يكن مثل هذا الجسيم معروفاً في ذلك الوقت. ثم اكتشف كارل أندرسون هذا الجسيم في الأشعة الكونية بعد ذلك بأربع سنوات وأطلق عليه اسم بوزيترون Positron. والبوزيترون يشبه الإلكترون في الكتلة وبقية الخواص إلا أن شحنته موجبة وليست سالبة. يدخل الإلكترون في تركيب جميع ذرات المادة المعروفة أما البوزيترون فإنه ضديد الإلكترون anti-matter وهو غير مستقر ولا علاقة له بتركيب المادة. لقد حصل ديراك على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1933 في حين حصل أندرسون على تلك الجائزة عام 1936.

* أستاذ الفيزياء في جامعة الخليل، (فلسطين).



شكل 1 : فناء أو دثور المادة



شكل 2: كاشف التألق

إذا التقى الإلكترون بضديده البوزيترون فإنهما يفنيان معا وينتج بدلاً منهما فوتونان من فوتونات أشعة غاما لهما الطاقة نفسها ويتحركان في اتجاهين متعاكسين تماماً، كما هو موضح في الشكل رقم (1).

ويعرف هذا التفاعل في الفيزياء النووية باسم عملية فناء أو دثور المادة. إن الكشف عن فوتونين لهما الطاقة نفسها ويتحركان باتجاهين متعاكسين في اللحظة نفسها يؤكد وجود بوزيترون وتفاعله مع إلكترون. وتستخدم هذه العملية في الكشف عن البوزيترون في تجارب الفيزياء النووية.

مصادر البوزيترون

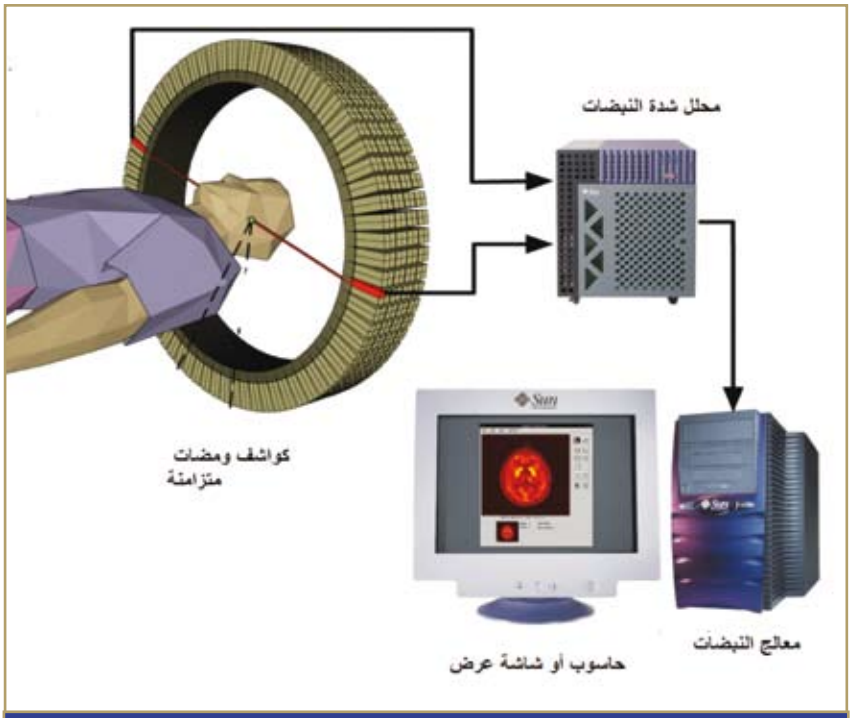
تبين في ثلاثينيات القرن الماضي أن البوزيترون ينطلق من نوى بعض المواد المشعة بصورة ذاتية فيما يعرف بظاهرة النشاط الإشعاعي الطبيعي Natural Radioactivity، ويطلق عليه في هذه الحالة اسم أشعة بيتا الموجبة. أما الإلكترونات المنطلقة من نوى المواد المشعة فتعرف باسم أشعة بيتا السالبة، وقد زاد الاهتمام بمصادر أشعة بيتا الموجبة (البوزيترون) في منتصف القرن الماضي عندما تبين أن لبعضها علاقة وثيقة بالخلايا الحية في الجسم البشري. ويعتبر الكربون المشع والأكسجين المشع والفسفور المشع والفلور المشع والنتروجين المشع من أشهر هذه المصادر. لقد كان الاهتمام بهذه المصادر كبيراً لدرجة أن مستشفى همرسميث في لندن أنشأ مسرع سايكلترون Cyclotron لإنتاج هذه المصادر

تم صناعة أول كاميرا بوزيترون في أوائل ستينيات القرن الماضي وتكونت من 32 كاشفاً إشعاعياً

عام 1955. إن كاميرا البوزيترون عبارة عن جهاز تصوير معقد يلتقط الفوتونات المتساوية في الطاقة والمتعاكسة في الاتجاه والناتجة عن عملية فناء المادة بواسطة كواشف إشعاعية خاصة ومضخمات ضوئية مناسبة ودارات معالجة إلكترونية، ويرسم من خلال اختلاف شدتها صورة للعضو الذي انطلقت منه البوزيترونات.

تركيب وعمل كاميرا البوزيترون

يعتبر كاشف التألق (أو الإيماض) scintillation detector من أهم العناصر التي تتكون منها كاميرا البوزيترون. ويوجد عادة في الكاميرا عدد كبير من هذه الكواشف المرتبة بصورة دائرية حول المريض. يتكون هذا الكاشف بصورة عامة كما هو موضح في الشكل (2) من بلورة يوديد الصوديوم التي تحول فوتونات أشعة غاما الناتجة عن فناء المادة إلى فوتونات ضوء عادي أو ومضات ضوء مرئية، ثم تسقط فوتونات الضوء على مهبط ضوئي يحولها إلى إلكترونات من خلال الظاهرة الكهروضوئية التي فسرها آينشتاين في بداية القرن الماضي وحصل على أساسها على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 1921. تسقط هذه الإلكترونات على مجموعة متتالية من المصاعد الكهربائية التي لها خاصية تضاعف عددها، حيث يتضاعف عدد الإلكترونات أكثر من مليون مرة خلال هذه العملية. إن شدة نبضة التيار



شكل 3: كاميرا بوزيترون حديثة

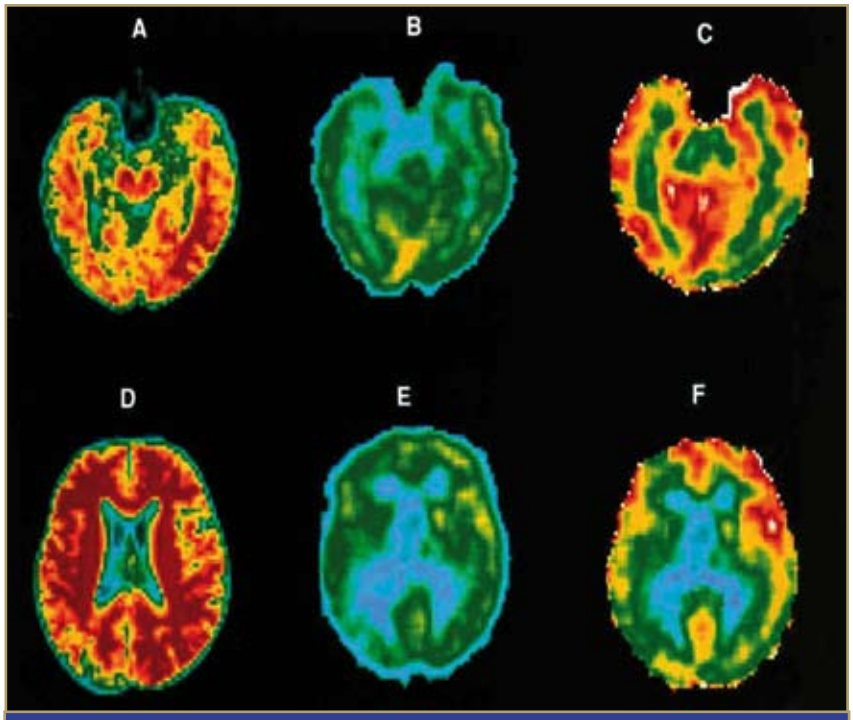
تمتاز عملية التصوير المقطعي لانبعاث البوزيترون بحصولها على صور وظائفية للأعضاء في ثلاثة أبعاد بدقة عالية مقارنة بعمليات أخرى تعطي صورا لتركيب الأعضاء وليس عملها

الناتجة (أو نبضة فرق الجهد) تتناسب مع شدة الفوتونات. ويمكن بالتالي استخدامها لرسم صورة إشعاعية للعضو الذي انطلقت منه البوزيترونات.

وللربط بين الفوتونات المكونة للصورة والنقطة التي انطلقت منها من العضو، فإن عددا كبيرا جدا من المسدّات الدقيقة Collimators توضع بين العضو المراد تصويره والبلورة بحيث تصل الفوتونات إلى الكاشف المقابل لها تماما (على الخط نفسه) وتمنع الفوتونات الصادرة عن النقاط الأخرى من الوصول لهذا الكاشف، كما هو موضح في الشكل 2.

وإضافة إلى العدد الكبير من كواشف التألق فإن كاميرا البوزيترون الحديثة تحوي أيضاً دارات إلكترونية معقدة لتحليل ومعالجة النبضات الإلكترونية وربط نقاط العضو من خلال الفوتونات الصادرة عنها بمكانها في الصورة الإشعاعية. ويوضح الشكل (3) مخططاً بسيطاً لكاميرا بوزيترون حديثة.

يعطى المريض المراد تصويره مادة غذائية عادية تمتصها خلايا الجسم مثل الغلوكوز تكون مُعَلّمة (أي مرتبطة بها) لمصدر من مصادر أشعة بيتا الموجبة التي تنطلق منها البوزيترونات. إن تفاعل البوزيترونات مع الإلكترونات يؤدي إلى صدور الفوتونات المتزامنة التي يمكن استخدامها لرسم صورة إشعاعية للعضو. ويمكن استخدام هذه الصورة لمعرفة حالة العضو من حيث الصحة أو المرض. كذلك فإن الصورة تبين طريقة عمل ووظيفة العضو في الجسم. والمعروف أن جميع خلايا الجسم تستهلك السكر إلا أن الخلايا السرطانية تستهلك كمية أكبر من السكر من تلك التي تستهلكها الخلايا السليمة، ويمكن



الصور التي تظهر على شاشة عرض الكاميرا

بذلك تمييز الخلايا السرطانية من الخلايا السليمة لأن شدة الإشعاعات الصادرة عنها تكون أكبر من شدة الإشعاعات الصادرة عن الخلايا السليمة.

وتم صناعة أول كاميرا بوزيترون في أوائل ستينيات القرن الماضي وتكونت من 32 كاشفاً إشعاعياً، واستخدمت هذه الكاميرا لدراسة وفحص تدفق الدم خلال الشرايين، وظهرت صور عملية لكاميرا البوزيترون للمرة الأولى عام 1963. وكان استخدام كاميرا البوزيترون في التصوير الطبي في تلك الفترة محدوداً جداً بسبب تكاليفها الباهظة وعدم دقة ووضوح الصورة. إن طرق معالجة النبضات الإلكترونية لم تكن متطورة مثل الوقت الحاضر لتعطي صورا إشعاعية واضحة.

تمتاز كاميرا البوزيترون المتطورة بحساسيتها العالية في الكشف عن السرطان في بدايته وحساسيتها أكبر بنحو مئة مرة من حساسية كاميرا غاما العادية

تطوير كاميرا البوزيترون

بدأت عمليات نشيطة لتطوير كاميرا البوزيترون خلال سبعينيات وثمانينيات القرن الماضي. وقد شارك في عملية التطوير مئات الباحثين وما زالت عملية تطوير الكاميرا مستمرة حتى الآن. واستخدمت في بعض النماذج بلورة جديدة من (BGO) Bismuth- Germanium Oxide لأن حساسيتها للفوتونات أكبر من حساسية بلورة يوديد الصوديوم. كما استخدمت طرق مختلفة لتجميع الكواشف معا لزيادة حساسيتها. واستفادت عمليات التطوير أيضا من ازدهار الحواسيب خلال سبعينيات القرن الماضي. وساعدت هذه الحواسيب على تشكيل صور إشعاعية واضحة، واستخدم الباحثون الحاسوب الشخصي لإنتاج صور مقطعية للأعضاء، Computed Tomographic Images وبدأت عملية التصوير هذه تعرف باسم التصوير المقطعي لانبعاث البوزيترون Positron Emission Tomography (PET). وتمكن الباحثون من خلال هذه الطريقة الجديدة من الحصول على صور وظائفية للأعضاء في ثلاثة أبعاد بدقة عالية. وتمتاز هذه الطريقة الحديثة عن طرق التصوير الأخرى مثل التصوير بالرنين المغنطيسي (MRI) أو التصوير المقطعي المحوسب (CT) التي تعطي صورا لتركيب الأعضاء وليس عملها. وتمتاز كاميرا البوزيترون المتطورة بحساسيتها العالية في الكشف عن السرطان في بدايته حيث لا يمكن الكشف عنه بطرق التصوير الآنفة الذكر. إن حساسية كاميرا البوزيترون أكبر بنحو مئة مرة من حساسية كاميرا غاما العادية التي تعتمد على الانبعاث المباشر لأشعة غاما من العضو.

تتيح كاميرا البوزيترون التعرف إلى حالة العضو من حيث الصحة أو المرض وطريقة عمله ووظيفته

تم صناعة أول كاميرا تستخدم تقنية PET لدراسة الجسم البشري في جامعة واشنطن عام 1973 وظهرت صور عملية بواسطتها بعد ذلك بأربع سنوات. واستخدمت كاميرا البوزيترون في البداية لدراسة تدفق الدم في الشرايين. وتستخدم الآن بالإضافة إلى ذلك في تشخيص ودراسة مرض ألزهايمر ومرض باركنسون وبعض الأمراض النفسية مثل الفصام (الشيزوفرينيا). إن استخدام كاميرا البوزيترون PET في البحث العلمي يفوق استخدامها في الكشف عن الأمراض والتشخيص الطبي وذلك بسبب تكاليفها الباهظة. ■