

Tomograf PET na całe ciało dla fizyki i medycyny

W Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego został zaprojektowany i zbudowany pierwszy tomograf PET, który działa w oparciu o scyntylatory plastikowe. Jagielloński PET (J-PET) jest unikalnym w skali świata urządzeniem badawczym pozwalającym nie tylko na obrazowanie metabolizmu wybranych substancji w organizmach żywych, ale także na obrazowanie patologii tkanek *in-vivo* poprzez pomiar właściwości pozytonium (atomu zbudowanego z elektronu i pozytonu). Obrazowanie patologii tkanek jest unikalną cechą tomografu J-PET opartą o fakt, że w trakcie diagnozowania PET w tkankach człowieka w przestrzeniach intramolekularnych powstają atomy pozytonium (atomy złożone z elektronu z tkanki oraz pozytonu emitowanego przez znacznik izotopowy). Zjawisko to, niewykorzystywane dotąd w medycynie, może stworzyć nowe możliwości dla diagnostyki medycznej. Na przykład, średni czas życia pozytonium wewnątrz tkanek zależy od wielkości wolnych przestrzeni między atomami oraz od koncentracji wolnych rodników w komórkach i może posłużyć jako nowy wskaźnik (bio-marker) do wyznaczania stopnia złośliwości nowotworów *in-vivo*.

Atom pozytonium, będąc układem elektronu z pozytonem związanym oddziaływaniem elektromagnetycznym, jest jednocześnie atomem i antyatomem. Jako atom zbudowany z elektronu i antyelektronu, w przeciwieństwie do zwykłych atomów, jest symetryczny przy wymianie cząstek na antycząstki. Dlatego pozytonium stanowi idealny system do badania symetrii między materią a antymaterią w przyrodzie. W szczególności umożliwia testy niezmienniczości zjawisk fizycznych ze względu na przekształcenia (symetrie) dyskretne takie jak: zamiana cząstek na antycząstki (C), odwrócenie kierunku upływu czasu (T), odbicie przestrzenne (P) i kombinacje tych symetrii jak na przykład CP czy CPT. Testy symetrii dyskretnych dotyczą fundamentalnych pytań takich jak: Dlaczego istnieją gwiazdy? Dlaczego istniejemy? Dlaczego Wszechświat istnieje? Czy istnieją jeszcze inne, nieznanne nam, cząstki i siły odpowiedzialne za przetrwanie materii do naszych czasów? Przetrwanie materii we Wszechświecie pozostaje niewyjaśnioną zagadką, biorąc pod uwagę zdecydowanie zbyt małą zmierzoną asymetrię między materią a antymaterią, jak dotąd zaobserwowaną tylko w procesach słabego oddziaływania. Do tej pory nie zaobserwowano żadnych oznak podobnych asymetrii w oddziaływaniach grawitacyjnych, elektromagnetycznych i silnych.

Na wykładzie omówiona zostanie zasada działania tomografu J-PET oraz możliwe jego zastosowania do badania metabolizmu w całym ciele człowieka jednocześnie. Omówione zostaną także: zasada obrazowania pozytonium, zasada testowania symetrii dyskretnych tomografem J-PET, jak również zasada pomiaru polaryzacji i splątania kwantowego fotonów powstających w wyniku anihilacji pozytonium. J-PET jako tomograf zbudowany z detektorów plastikowych, jest obecnie unikalnym urządzeniem pozwalającym na badanie splątania kwantowego fotonów powstających na skutek anihilacji pozytonium. Przedstawione zostaną także pierwsze obrazy pozytonium oraz wyniki testów zachowania symetrii dyskretnych w rozpadach atomów pozytonium uzyskane tomografem J-PET (jak dotąd najbardziej precyzyjne na świecie testy w układach leptonów naładowanych elektrycznie).

Technologia J-PET umożliwia zbudowanie tomografu PET na całe ciało człowieka. Dostęp do takiego urządzenia otworzyłby nowe możliwości badań w medycynie, w tym np. (i) badań farmakokinetyki nowych związków czy wiązania leków na poziomie tkankowym w układzie *in vivo*, (ii) wykrywania stopnia złośliwości nowotworów *in-vivo*; (iii) badania nad chorobami metabolicznymi i przewlekłymi na poziomie komórkowym i tkankowym. Na wykładzie omówiona zostaną perspektywy budowy w Polsce tomografu PET na całe ciało człowieka.

P. Moskal, E. Stępień, PET Clinics 15 (2020) 439

P. Moskal et al., EJNMMI Physics 7 (2020) 44

P. Moskal, B. Jasińska, E. Stępień, S. Bass, Nature Reviews Physics 1 (2019) 527

P. Moskal et al., Physics in Medicine and Biology 64 (2019) 055017

B. Hiesmayr, P. Moskal, Scientific Reports 9 (2019) 8166

Total-body PET for physics and medicine

The first PET tomograph based on plastic scintillators was designed and built at the Institute of Physics of the Jagiellonian University. Jagiellonian PET (J-PET) is a unique research device on a global scale that allows not only to visualize the metabolism of selected substances in living organisms, but also for imaging tissue pathology in-vivo by measuring the properties of positronium (an atom made of electron and positron). Tissue pathology imaging is a unique feature of the J-PET tomograph based on the fact that during PET diagnosis positronium atoms are formed in human tissues in intramolecular spaces (atoms composed of an electron from tissue and a positron emitted by a radioisotope). This phenomenon, not used so far in medicine, may create new possibilities for medical diagnostics. For example, the average lifetime of positronium within tissues depends on the size of free space between atoms and on the concentration of free radicals in cells and can serve as a new indicator (bio-marker) for determining the degree of malignancy in tumors in vivo.

A positronium atom, being a system built of electron and positron bound by electromagnetic interaction, is both an atom and an anti-atom. As an atom made of electron and anti-electron, unlike ordinary atoms, is symmetrical when exchanging particles for antiparticles. That is why positronium is an ideal system for studying symmetry between matter and antimatter in nature. In particular, it enables tests of invariance of physical phenomena due to discrete transformations (symmetries) such as: conversion of particles into antiparticles (C), reversal of time (T), spatial reflection (P) and combinations of these symmetries, such as CP or CPT. Discrete symmetry tests touch upon fundamental questions such as: Why stars exist? Why do we exist? Why does the universe exist? Are there other particles and forces unknown to us that are responsible for the survival of matter to our times? The survival of matter in the universe remains an unexplained mystery, given the far too small measured asymmetry between matter and antimatter, so far observed only in processes of weak interaction. To date, no signs of similar asymmetries have been observed in gravitational, electromagnetic and strong interactions.

The lecture will discuss the principle of the J-PET tomograph and its possible applications for studying metabolism throughout the whole human body simultaneously. Also discussed will be the principle of positronium imaging, the principle of testing discrete symmetry with a J-PET tomograph, as well as the principle of measuring the polarization and quantum entanglement of photons formed as a result of positronium annihilation. J-PET as a tomograph made of plastic detectors is currently a unique device that allows the study of quantum entanglement of photons arising from positronium annihilation. The first positronium images and the results of discrete symmetry tests in positronium atom decays obtained with J-PET tomograph will also be presented (so far the most precise tests in the world in electrically charged leptons).

J-PET technology makes it possible to build a PET tomograph for the entire human body – the total-body PET. Access to such a device would open up new research opportunities in medicine, including, for example (i) pharmacokinetic studies of new compounds or drug binding at the tissue level in vivo, (ii) in-vivo detection of malignancy; (iii) research on metabolic and chronic diseases at the cellular and tissue level. The lecture will also discuss the prospects of building such a total-body PET in Poland.

P. Moskal, E. Stępień, PET Clinics 15 (2020) 439

P. Moskal et al., EJNMMI Physics 7 (2020) 44

P. Moskal, B. Jasińska, E. Stępień, S. Bass, Nature Reviews Physics 1 (2019) 527

P. Moskal et al., Physics in Medicine and Biology 64 (2019) 055017

B. Hiesmayr, P. Moskal, Scientific Reports 9 (2019) 8166