

1930-ban P. A. M. Dirac elméleti úton arra a következtetésre jutott, hogy léteznie kell az elektron antipárjának. Két évvel később C. D. Anderson ködkamrafelvételen mutatta meg egy, az elektronnal azonos tömegű, de azzal ellentétes töltésű részecske létezését, ezt a részecskét pozitronnak nevezte el. A pozitron, az elektronhoz hasonlóan végtelen élettartalmú, azaz stabil részecske; ha azonban egy elektron és egy pozitron egymás közelébe kerül, akkor „megsemmisülnek” (annihilálódnak, szétsugárzódnak), azaz fotonokká alakulnak át. Az annihiláció során legtöbbször két vagy három foton keletkezik, melyeknek akkora lesz az energiájuk, impulzusuk stb., hogy az energia, impulzus stb. megmaradási tételek teljesüljenek. Világunk – legalábbis az a része, amelyet közelebbről ismerünk, vagyis a Naprendszer – minden egyes atomjában van elektron. A pozitronnak itt nagyon kevés lehetősége van arra, hogy huzamosabb ideig ne kerüljön elektron közelébe, ne sugárzódjon szét egy elektronnal. Ha egy pozitron valamilyen szilárd anyag belsejébe kerül, ahol különösen sok elektron van, élettartama kb. 10^{-10} másodperc.

Pozitronokhoz különböző módon lehet jutni. Vannak olyan radioaktív izotópok, melyek bomlásterméke pozitron. Ilyenek például a ^{19}Ne (felezési ideje $t_{1/2} = 17,4$ s), ^{11}C ($t_{1/2} = 20,3$ min), ^{64}Cu ($t_{1/2} = 12,8$ h), ^{58}Co ($t_{1/2} = 71$ nap), ^{68}Ge ($t_{1/2} = 275$ nap), ^{22}Na ($t_{1/2} = 2,6$ év). Ezek mind mesterséges radioaktív izotópok, előállításuk módja ismert, részben kereskedelmi forgalomban is vannak. Általában reaktorban vagy gyorsítóban kell egy kémiai elemet adott módon besugározni, majd a kapott anyagot kémiai dúsítani, az át nem alakult részt kivonni. A hosszabb felezési idejű izotópokat pozitronforrásként lehet használni pl. szilárdtestfizikai kísérletekhez, a rövid felezési idejűek biológiai kísérletekhez, orvosi vizsgálatokhoz alkalmasak. A radioaktív forrásból kilépő pozitronok elég gyorsak, maximális energiájuk az izotóptól függően néhány száz keV-től néhány MeV-ig terjed.

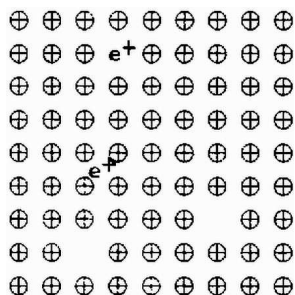
Másik lehetőség pozitronok keltésére az ún. párképzés. Ez a folyamat bizonyos értelemben az elektron-pozitron szétsugárzás tükörfolyamata. Ha egy elég nagy energiájú foton (γ -kvantum) olyan helyen halad át, ahol erős elektromágneses tér van, energiájának egy részét elektron-pozitron pár létrehozásával leadja (párképzés). A γ -sugarat valamilyen szilárd anyagra irányítva a γ -kvantum bizonyos (elég nagy) valószínűséggel atommag közvetlen közelében halad el és igen nagy elektrosztatikus teret érez: a párképződés bekövetkezik. Használható mennyiségű pozitron előállításához nagy berendezés szükséges, amely – ára és mérete miatt – csak a legnagyobb kutatóközpontokban valósítható meg. Ilyen módon állítják elő a pozitronokat pl. Genfben a CERN-ben, vagy Hamburgban a DESY-ben.

A pozitront nagyon nagy energiára felgyorsítva ütköztetni lehet elektronnal, protonnal, antiprotonnal stb., és a keletkezett részecskéket, az ún. reakciótermékeket megfigyelve az elemi részecskék elméletének egyes részeit ellenőrizhetjük, illetve az elméletet pontosíthatjuk.

A pozitronokat a kondenzált anyagok fizikájában is gyakran alkalmazzák. Segítségükkel a szilárd testek (kristályos, amorf, nanokristályos szerkezetű) és folyadékok olyan mikroszkópikus tulajdonságairól is információkat kaphatunk, melyek más eszközökkel egyáltalán nem, vagy csak pontatlanul vizsgálhatók.

A kristályos szilárd anyagban termodinamikai egyensúlyban mindig található üres rácshelyeket, ahonnan az odartartozó atom hiányzik. A környező rácspontokban az atomok mind a helyükön vannak, csak egyetlen atom hiányzik. Ennek a rácshibának a neve vakancia, gyakorisága (koncentrációja) a hőmérséklet növekedésével exponenciálisan nő, de az olvadásponton is legfeljebb minden milliomodik hely üres a kristályrácsban. Az egyensúlyi vakanciakoncentráció hőmérsékletfüggésének ismerete fontos adat a kristályos anyag megértéséhez. Ennek mérésére ma az egyetlen általánosan használt módszer a pozitron annihiláció.

A kívánt hőmérsékletű mintába pozitronokat lövellünk bele, amelyek egy megfelelő radioaktív forrásból származnak. Lemérjük, hogy az egyes pozitronok mekkora időt töltöttek a mintában a szétsugárzásig. Ha a pozitron közelében sok elektron tartózkodott, a mért pozitron élettartam rövid lesz, míg ha a pozitron környezetében az elektronok sűrűsége kicsi, a pozitronoknak kevesebb alkalmuk volt elektronnal találkozni, az élettartam hosszabb lesz. Mivel a pozitron pozitív töltésű, a pozitív atommagok taszítják, azoktól lehetőleg távol helyezkedik el. A pozitron számára a legelőnyösebb az olyan hely, ahol a kristályrácsból egy atommag hiányzik, vagyis a vakancia.



Az *ábra* egy kristály atommagjainak (\oplus) elrendezését mutatja sematikusán. A pozitron (e^+) vagy a hiányzó mag helyén, a vakanciában van, vagy az atomok között – azoktól lehetőleg egyenlő távolságra – a rácsközi helyen (intersticiós hely). Az ábrán az elektronokat nem tüntettük fel, de azt tudjuk, hogy az elektronsűrűség az atomoktól távolabb, a vakanciában lényegesen kisebb, mint a rácsközi helyeken. Így azok a pozitronok, amelyek vakanciába fogódnak be, hosszabb átlagos élettartamúak lesznek, mint a többi, ún. szabad pozitronok. Ha megmérjük az egyes pozitronok élettartamát, meg tudjuk állapítani, hogy hány százalékuk volt vakanciába befogódva, illetve hány százalékuk szabad. Ez az arány pedig a vakancia-koncentrációra jellemző.

A pozitronok élettartama szabad állapotban fémekben a fémtől függően 100–200 ps,¹ vakanciába befogódva ennél 20–40 ps-mal hosszabb. A megméréndő idő elég rövidnek tűnik, korszerű detektorokat és elektronikát használva azonban jól meghatározható. Időméréshez először is egy jelre van szükségünk, amely azt mondja meg, hogy mikor került be a pozitron a mintába. Általánosan használt módszer, hogy ²²Na forrást veszünk, melynek különlegessége az, hogy a pozitron keletkezésével egy időben egy 1,27 MeV-os γ -kvantum is kibocsátódik belőle. Ennek detektálása indítja az óránkat, az annihiláció során keletkező egyik γ -foton detektálása pedig leállítja. Az óra maga egy kondenzátor, amelyet állandó árammal töltünk az indítási és leállító impulzusok között, az idő pedig a kondenzátor feszültségével arányos, amelyet egy megfelelően gyors analóg-digitális átalakítóval lehet megmérni. Természetesen ennél a mérésnél fontos, hogy a mintában egyidejűleg legfeljebb egy pozitron tartózkodjon. Ez a gyakorlatban nem okoz gondot, mert olyan intenzív pozitronforrást még nem sikerült készíteni, amelyekre ez ne teljesült volna. Elég sok pozitron élettartamát megmérve, az eredményeket a matematikai statisztika módszereivel analizálva adatokat kapunk a vakancia-koncentrációra, illetve annak hőmérsékletfüggésére.

Fémekben az elektron-pozitron szétsugárzás mindig két foton keletkezésével történik. Nyugvó elektron és pozitron annihilációjánál a két γ -kvantum azonos, $E_0 = 0,511$ MeV energiával és egymással ellentétes irányban hagyja el az annihiláció helyét. A fémbe érkező gyors pozitron a fémbeli élettartamhoz képest rövid idő alatt elveszti mozgási energiáját, az annihilációkor sebességét nullának tekinthetjük; az elektronok azonban mindig néhány eV mozgási energiájúak. Ha mérjük a γ -foton energiájának eltérését E_0 -tól, az energia- és impulzusmegmaradás törvényéből következtetéseket vonhatunk le az elektron sebességére. Információt kaphatunk az elektron sebességéről úgy is, hogy a két foton egymással bezárt szögének 180° -tól való eltérését határozzuk meg. Az előbbi módszert Doppler-vonalszélesedés mérésének, az utóbbit $\gamma - \gamma$ szögkorreláció mérésnek nevezzük. A Doppler-effektus méréséhez olyan detektorra van szükség, amelynek energiafelbontása nagyon jó (germánium detektor), a szögkorrelációs méréshez jó szögfelbontás, azaz nagy távolságok (~ 10 m) szükségesek.

A fenti példák a leggyakrabban használatos mérési módszerek, amelyekben pozitronokat használnak az anyag pozitrontól független tulajdonságainak megismerésére. A pozitronokat számos más módon is használják kondenzált anyagok kutatására, néhány kísérletben a cél elsősorban nem a minta vizsgálata, hanem a pozitronnak a mintát módosító hatása, illetve a pozitron állapotának megismerése az anyagban.

¹ps (pikoszekundum) 10^{-12} s.