

100-lecie LAMPY RENTGENOWSKIEJ

Grzegorz Jezierski

Wstęp

W tym roku obchodzimy 100-lecie zbudowania pierwszej właściwej lampy rentgenowskiej przez Williama D. Coolidge'a (1873–1975). Amerykański fizyk i wynalazca William D. Coolidge wieloletni dyrektor Laboratorium Badawczego firmy General Electric w Schenectady wniósł istotny wkład w rozwój lamp rentgenowskich (autor 83 patentów). Uznawany jest za ojca lampy rentgenowskiej, bowiem w 1913 r. zgłosił patent właściwej lampy rentgenowskiej, tj. lampy próżniowej z żarzoną katodą wolframową, w miejsce stosowanych dotąd lamp wyładowczych, a więc lamp gazowanych z zimną katodą. W artykule przedstawiono jedynie początkowy, ale za to bardzo burzliwy okres rozwoju tych lamp. Nie znaczy to, że ten typ lampy nadal się nie rozwija, czego przykładem mogą być setki a nawet tysiące różnych patentów.

Lampy gazowane (jonowe, z zimną katodą)

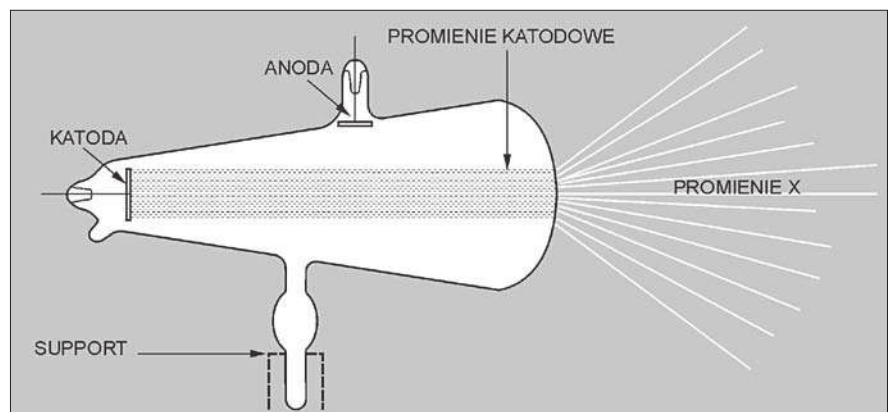
Odkrycie promieni X miało miejsce w Niemczech, podczas badań prowadzonych przez Wilhelma C. Röntgena (1845–1923) nad promieniami katodowymi, którymi fascynował się cały ówczesny świat naukowy. Jak obecnie wiadomo, promienie katodowe to strumień szybko poruszających się elektronów w rozrzedzonych gazach, a ich nazwa wzięła się stąd, iż miejscem ich powstawania była katoda. Lampy do ich wytwarzania to lampy gazowane, zwane też jonowymi, lub lampami z zimną katodą, a od znanego twórcy tych lamp i badacza zjawisk towarzyszących wyładowaniom elektrycznym w gazach, angielskiego fizyka Williama Crookes'a (1832–1919) zwane również lampami Crookes'a. To właśnie taką lampą dysponował Röntgen, kiedy to 8 listopada 1895 r. zauważył dziwne zjawisko polegające na wydostawaniu się z lampy nowego, nieznanego pro-

mieniowania, zdolnego do przenikania przez różne materiały, w tym ludzką rękę.

Stosowane wówczas przez naukowców lampy to lampy z niewielką próżnią (ciśnienie ok. 0,1 Pa), często wypełnione jakimś gazem. Dzięki przyłożeniu wysokiego napięcia do lampy (minus do katody, plus do anody) następowała jonizacja resztek gazu w lampie i przepływ prądu – stąd lampy te nazywano również lampami jonowymi. Pod wpływem wysokiego napięcia dodatnie jony gazu, powstałe w wyniku jonizacji, ulegały przyspieszeniu między elektrodami i bombardując katodę wyzwalały z niej elektrony. W związku z taką emisją elektronów, lampy te nazywano również lampami rentgenowskimi z zimną katodą. Z kolei uwolnione z katody elektrony, ulegając przyspieszeniu pod wpływem przyłożonego napięcia, padały na przeciwległą ściankę bańki i emitowały w niej promienie X – rys. 1.

W pierwszych lampach, promieniowanie rentgenowskie było emitowane ze szklanej bańki, w miejscu na które padały promienie katodowe (strumień szybkich elektronów), stąd też uzyskiwane obrazy rentgenowskie nie były ostre, były nieco rozmyte; można powiedzieć, iż „ognisko” tych lamp wynosiło 5 do 8 cm. Lampy te miały pierwotnie kształt cylindra, później pojawiły się lampy o kształcie kulistym z bocznymi ramionami na wyprowadzenia elektrod.

W celu uzyskania wąskiej wiązki elektronów emitowanych przez katodę, prof. Herbert Jackson



Rys. 1. Schemat lampy wyładowczej, z którą pracował Röntgen

Rys. 2. Różnorodne konstrukcje wczesnych lamp do wytwarzania promieniowania rentgenowskiego [2]

(Użytkownikami lamp byli:

1 i 2 – Crookes;

3 – Seguy;

4 – Wood;

5 – Seguy;

6 – Chabaud-Hurmuzescu;

7 – Seguy;

8 – Thompson;

9 – Seguy;

10 – d'Arsonval;

11 – Seguy;

12 – Puluj;

13 – Seguy;

14 – d'Arsonval;

15 – Le Roux;

16, 17 i 18 – Seguy;

19 – de Ruffz;

20 – Crookes;

21, 22, 23 – Seguy;

24 – Röntgen;

25 – Brunet-Seguy;

26, 27 – Le Roux;

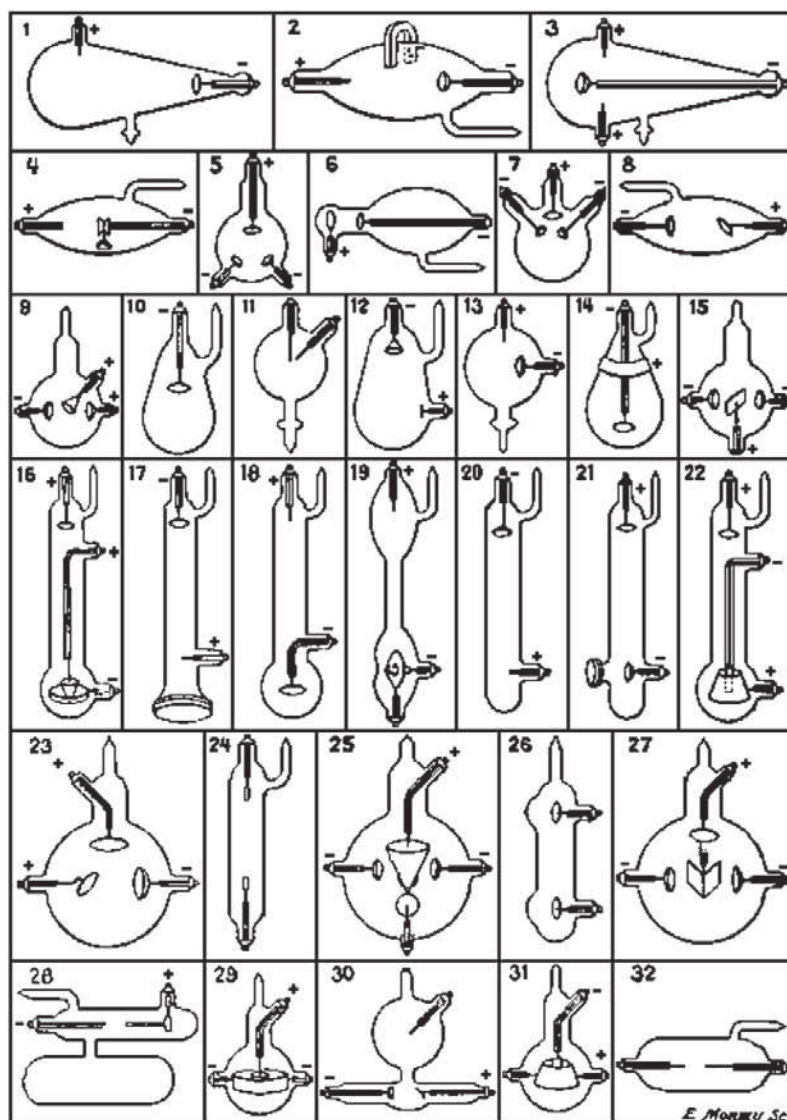
28 – Colardeau;

29 – Seguy;

30 – Colardeau;

31 – Seguy;

32 – Röntgen)



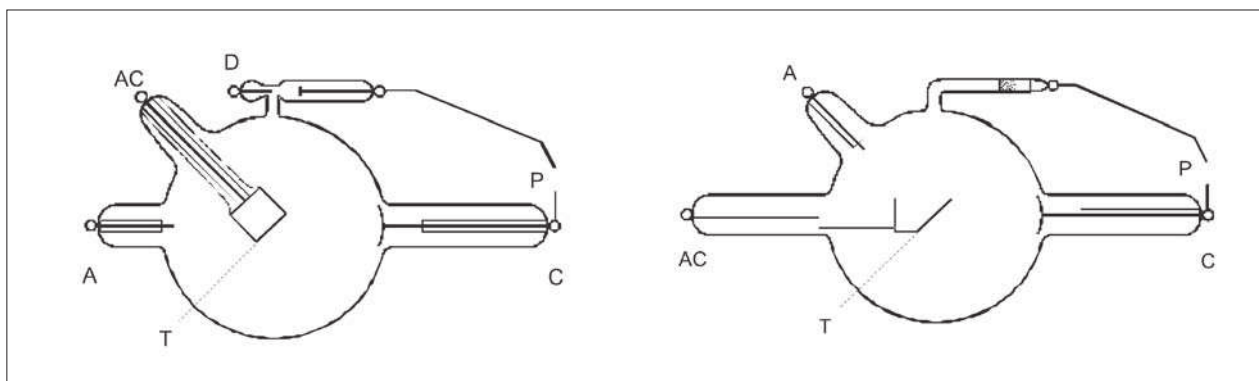
VARIOUS TYPES OF X-RAY TUBES.

(1863–1936) z King's College w Londynie zaproponował w marcu 1896 r. użycie katody o powierzchni wklęsłej w miejsce dotychczasowej płaskiej. Lamp takich (zwanymi *fokus tube* lub rurami Jacksona) używał m.in. dr John MacIntyre (1857–1928) prezydent Londyńskiego Towarzystwa Radiologicznego.

Pierwsze lampy posiadały kształt gruszkowaty z katodą umieszczoną w węższej jej części. Później pod koniec 1896 r., kiedy ustalono, że kształt lampy nie ma znaczenia, zastąpiono kształt gruszkowaty wygodniejszym w produkcji kształtem sferycznym. Na elektrody stosowano głównie aluminium, aczkolwiek eksperymentowano również z innymi metalami. W czasie tych eksperymentów ustalono, że najlepsze metale używane na anody to te, które mają największą liczbę atomową. Aluminium pomimo jego niskiej liczby atomowej (27), stosowano dlatego, ponieważ pozostaje stabilne w czasie wyładowań w próżni. Wolfram (liczba atomowa 74) i uran (92) zostały użyte jedynie

eksperymentalnie, natomiast preferowano platynę (78), ponieważ jest łatwiejsza do obróbki. Stąd też lampy jonowe z anodą platynową były stosowane aż do pojawienia się lampy próżniowej Coolidge'a w 1913 r., w której anoda była wykonana z wolframu.

W pierwszych lampach jonowych niekiedy na drodze strumienia elektronów umieszczano dodatkową trzecią elektrodę, tzw. antykatodę. Pojęcie *antykatody* wprowadził angielski fizyk Silvanus P. Thompson (1851–1916), przewodniczący pierwszego na świecie Towarzystwa Rentgenowskiego w Londynie, założonego w 1897 r. Terminy „anoda” i „antykatoda” niekiedy były używane zamiennie, jako że często odnosiły się one do tej samej elektrody; anoda działała bowiem, jak antykatoda w pierwszych, a także późniejszych lampach rentgenowskich. Oczywiście antykatoda posiadała ten sam dodatni potencjał, co anoda i była nachylona pod kątem 45° do osi lampy. Lampy z trzema



Rys. 3. Lampy jonowe z samoregulacją (C – katoda, A – anoda, AC – antykatoda, T – tarcza, P – mosiężna końcówka regulatora próżni, D – pręt metalowy w regulatorze próżni)

elektrodami były produkowane aż do lat 20. ubiegłego wieku, głównie w Niemczech, mimo że eksperci w tej dziedzinie nie byli zgodni, co do tego, czy lampy z trzema są lepsze niż z dwoma elektrodami.

Właściwe działanie pierwszych lamp rentgenowskich (jonowych, czyli gazowych) zależało od obecności niewielkiej ilości gazu wewnątrz lampy. Jego ilość oraz ciśnienie określały wydajność lampy. Podczas pracy takiej lampy następowała stopniowa absorpcja cząstek gazu, wskutek czego próżnia w lampie stawała się zbyt wysoka dla przepływu prądu. Wymagało to stosowania coraz wyższego napięcia; mówiło się więc, iż lampa stawała się „twarda”. Jeżeli natomiast było zbyt dużo gazu wewnątrz lampy, gaz ten ulegał zjawisku fluorescencji i również nie były wytwarzane promienie X; lampa stawała się „miękką”. Stąd też, aby zapewnić zadowalającą i jednolitą pracę lamp jonowych, próżnia powinna być utrzymywana na stałym w przybliżeniu poziomie. Rozwiązanie regulacji próżni w lampach rentgenowskich (jonowych) wczesnego okresu stwarzało wiele problemów. Wykorzystywano różnorodne regulatory utrzymujące próżnię na wymaganym poziomie. Stąd też wśród pierwszych lamp rentgenowskich możemy rozróżniać lampy jonowe bez regulacji próżni oraz lampy jonowe z regulacją próżni. Na „twardość” czy „miętkość” lampy oprócz samego ciśnienia gazu miały wpływ także takie czynniki jak: rodzaj gazu (powietrze, dwutlenek węgla, azot, czy wodór), odległość między katodą i anodą w lampie, włączenie do lampy iskiernika, czy wreszcie gęstość prądu. Do czasu wprowadzenia regulatorów powszechna była praktyka „ustawiania lampy” (*setting the tube*). W tym celu operator trzymając w prawej ręce fluoroskop, lewą ręką umieszczał pomiędzy nim a lampą rentgenowską. Po uruchomieniu ustawiał lampę za pomocą rezystora tak długo, dopóki kości jego ręki były dobrze widoczne. Ta właśnie procedura była powodem śmierci wielu pionierów radiologii.

Około 1900 r. pojawiły się lampy jonowe z samoregulacją próżni (rys. 3). Przeskok iskry pomiędzy mosiężną końcówką (P) a ujemnym przyłączem katody (C) powoduje uwolnienie się gazu z płytki miki i tym samym „zmiękczenie” lampy. Z kolei przyłączenie końcówki (D) do dodatniego bieguna (AC) powodowało absorpcję wolnego gazu przez cienki pręt metalowy umieszczony z lewej strony regulatora próżni (zob. rys po lewej) i tym samym lampa ulegała „stwardnieniu”. Najbardziej znaczącym regulatorem próżni było urządzenie wprowadzone w 1897 r. przez Henry’ego L. Sayena (1875–1918) z Filadelfii w lampach zwanych lampami z samoregulacją „*Queen Self-Regulating X-Ray Tube*”.

Ponieważ pierwsze lampy rentgenowskie działały w powietrzu, ich szklane bańki były stosunkowo duże, aby nie dopuścić do przeskoku iskry pomiędzy katodą i anodą (antykatodą) na zewnątrz bańki. Lampy wytwarzano w różnych wielkościach średnicy bańki szklanej, tj. w zakresie 110–250 mm, najczęściej jednak były to lampy 7 calowe (ok. 180 mm). Lampy jonowe o mniejszej średnicy czy też większej miały swoje niedogodności. W zależności od obciążenia wysokim napięciem, które w praktyce określano długością przeskakującej iskry w powietrzu, rozróżniano następujące rodzaje lamp: A (do 20 cm), B (do 30 cm), C (do 40 cm), D (do 50 cm), E (do 60 cm), F (do 80 cm) i G (do 125 cm długości iskry). Były to lampy, których napięcie nie przekraczało 100 kV, a natężenie prądu nie przekraczało 5 mA.

W tym miejscu warto zwrócić uwagę na fakt, iż większość istotnych odkryć naukowych związanych z promieniowaniem rentgenowskim, jak chociażby zjawiska dyfrakcji czy fluorescencji rentgenowskiej dokonywało się przy użyciu tychże prymitywnych, mało wydajnych lamp jonowych.

Próżniowe lampy rentgenowskie

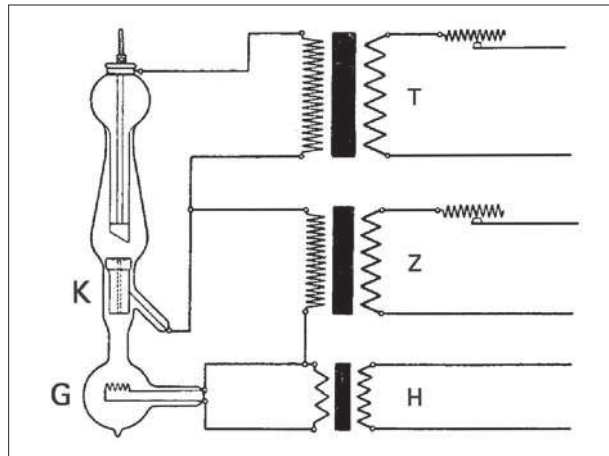
Wszystkie opisane dotąd lampy rentgenowskie były lampami jonowymi, których działanie jest zależne od obecności pozostałości gazu w lampie.

O jednej z wad lampy jonowej, tj. zmienności stopnia próżni w czasie jej działania, wspomniano już wcześniej. Inną i to istotną wadą było to, że napięcie lampy i natężenie płynące przez nią prądu są współzależne. Przyczyną, dla której jest to istotne, jest fakt, że penetracja promieni Röntgena zależy od napięcia, a natężenie promieniowania od natężenia prądu. W lampach jonowych redukcja ciśnienia gazu („utwardzenie” lampy) prowadzi do wzrostu napięcia i stąd generowania bardziej przenikliwych promieni Röntgena. Ale ponieważ jest mniej gazu w lampie, natężenie prądu spada i natężenie wiązki rentgenowskiej również się zmniejsza.

Wspomniany problem sterowania pracą lampy rentgenowskiej został rozwiązany w 1911 r. przez fizyka polskiego pochodzenia Juliusza Edgara Lilienfelda¹ (1881–1963) w całkiem prosty sposób. Otóż wykorzystał on do wytwarzania strumienia elektronów zjawisko termoemisji, czyli emisji elektronów z żarzącej się spirali metalowego drutu. Mechanizm termoemisji odkryty w 1885 r. przez Thomasa A. Edisona (1847–1931) wyjaśnił angielski fizyk Owen W. Richardson (1879–1959) wykazując, że ciała rozgrzane w próżni do wysokiej temperatury emitują elektrony.

Lampa Lilienfelda była pierwszą lampą próżniową opisaną w literaturze. Budowa jej była jednak dość skomplikowana (rys. 4), ponieważ Lilienfeld umieścić w oddzielnej części lampy (G) żarnik metalowy wykonany z grubego drutu, wytwarzający po podgrzaniu elektrony. Oddzielny prąd kierował elektrony ku katodzie (K); napięcie anodowe przyspieszało elektrony i kierowało je ku ognisku na anodzie. Dzięki samodzielnemu źródłu elektronów możliwe było oddzielne regulowanie natężenia prądu anodowego i twardości promieniowania. Lampa Lilienfelda produkowana w Niemczech jako *Lilienfeldrohre*, była wiele lat w użyciu; można ją było stosować do zdjęć i prześwietleń. Dość skomplikowana konstrukcja i kłopoty podczas eksploatacji tej lampy spowodowały, że nie została ona rozpowszechniona i została wyparta przez prostsze i pewniejsze w działaniu lampy dwuelektrodowe Coolidge’a.

Lilienfeld budując wiele różnych lamp rentgenowskich i patentując je, popadł nawet w konflikt z amerykańskim wynalazcą Williamem Davidem Coolidge’em (1873–1975) [3]. Warto wspomnieć, iż obaj panowie przez jakiś czas pracowali naukowo na Uniwersytecie w Lipsku, aczkolwiek nigdy się nie spotkali: Coolidge obronił tam swoją



Rys. 4. Uproszczony schemat lampy Lilienfelda i sposób jej zasilania [3]

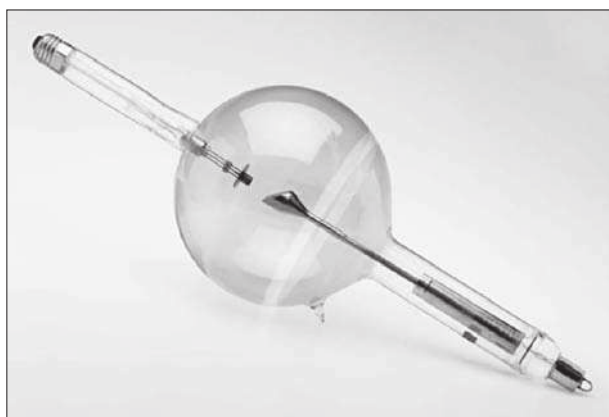
pracę doktorską w 1899 r., podczas gdy Lilienfeld pracę habilitacyjną w 1910 r.

W 1910 r. William Coolidge wynalazł giętkie włókno wolframowe, które żarzyło się w podwyższonych temperaturach. Początkowo znalazło ono zastosowanie w produkcji żarówek elektrycznych. W przeciwieństwie do lampy Lilienfelda, która miała zimną katodę i dodatkowo żarzące się włókno do wytwarzania elektronów, Coolidge zbudował w 1913 r. lampę, w której włókno wolframu stanowiące katodę, samo emitowało elektrony – stąd też lampy te zwano w początkowym okresie lampami z gorącą katodą (*hot cathode*) – patent 1,203,495. Ta nowa lampa z dość wysoką



Fot. 1. Publikacja prasowa nt wynalezienia lampy przez Coolidge’a [4]

¹ Juliusz E. Lilienfeld urodził się we Lwowie tj. w Galicji (zabór austrowęgierski).



Fot. 2. Wygląd lampy Coolidge'a [5]

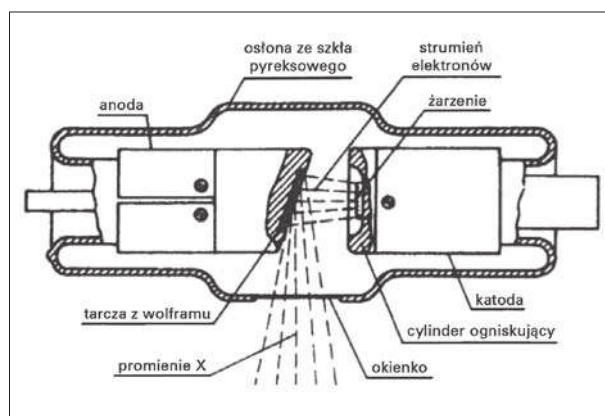
próżnią (ciśnienie rzędu 10^{-4} Pa), wytwarzała znacznie więcej promieniowania rentgenowskiego w porównaniu z dotychczasowymi lampami gazowymi, czym był zaskoczony sam Coolidge, a przede wszystkim była sterowalna – można było sterować natężeniem prądu niezależnie od wysokiego napięcia.

Trzeba więc było czekać niecałe dwadzieścia lat, aby dopiero w 1913 r. za sprawą Coolidge'a pojawiła się właściwa lampa rentgenowska. Warto podkreślić, iż ten „ojciec lampy rentgenowskiej”, twórca 83 patentów dotyczących lamp rentgenowskich, a więc testujący ich działanie i pracę, dożył w otoczeniu promieniowania jonizującego (rentgenowskiego) sędziwego wieku 102 lat! Przez wiele lat piastował stanowisko dyrektora Laboratorium Badawczego w firmie General Electric. Skonstruowanie lampy z gorącą katodą, tj. lampy Coolidge'a rozpoczęło nową erę w praktyce radiologicznej, a dla firmy General Electric w Schenectady stała się wielkim biznesem.

W tabeli 1 przedstawiono porównanie charakterystycznych różnic pomiędzy lampami jonowymi (wczesne lampy) i próżniowymi (współczesne lampy).

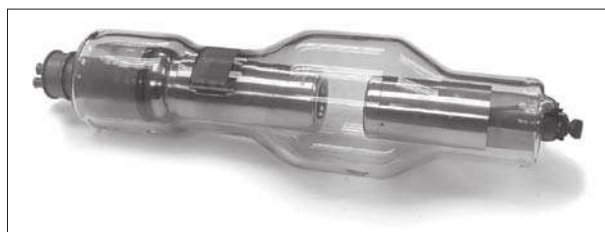
Tabela 1. Porównanie lamp rentgenowskich

Wczesne lampy	Współczesne lampy
wypełnione gazem	próżniowe
ciśnienie: $0,1 \text{ Pa} \pm 0,05 \text{ Pa}$ ($10^{-3} \div 5 \cdot 10^{-5}$ torr)	ciśnienie: $\sim 10^{-4}$ Pa ($\sim 10^{-6}$ torr)
niestabilne źródło elektronów	sterowalne źródło elektronów
jako tarczę wykorzystywano ściankę lampy	stosuje się małą metalową tarczę
brak układu do ogniskowania wiązki elektronów	układ ogniskujący wiązkę elektronów
kształt katody nie jest krytyczny	katoda w postaci żarnika
małe moce lamp – niewielka ilość wydzielanego ciepła	znaczne moce – duże ilości wydzielanego ciepła



Rys. 5. Przekrój współczesnej lampy rentgenowskiej

Dla przypomnienia warto przedstawić ogólny widok lampy Coolidge'a (fot. 2) oraz przekrój współczesnej konstrukcji lampy rentgenowskiej (rys. 5). Pierwsze lampy Coolidge'a to duże szklane bańki o średnicy zwykle ok. 18 cm z dwoma bocznymi ramionami – całość o długości ok. pół metra. Na bazie konstrukcji lampy Coolidge'a wprowadzano kolejne liczne rozwiązania udoskonalające lampy rentgenowskie zarówno pod kątem lepszej ostrości obrazu, wydajności emitowanego promieniowania rentgenowskiego, jak również zabezpieczenia przed niepożądanym promieniowaniem ubocznym. I tak np. w 1918 r. uzyskano znaczne zmniejszenie ogniska w lampie wykorzystując tzw. zasadę ogniska liniowego, opatentowaną przez Ferdynanda Ottomara Roberta Goetze (1850–1916). Polegała ona na zmianie konstrukcji żarnika, tj. w miejsce dotychczas stosowanej okrągłej spirali zastosowano spiralę liniową, co w powiązaniu z odpowiednim umieszczeniem jej względem pochylonej anody dawało małe ognisko optyczne, chociaż ognisko rzeczywiste pozostawało duże. Z czasem coraz więcej lamp rent-



Fot. 3. Lampa rtg. SRT-2 firmy General Electric [6]



Fot. 4. Lampa z anodą wirującą RT-1-2 firmy General Electric [6]

genowskich wyposażano w dwa ogniska: większe i mniejsze. Większe ognisko używano, gdy pracowano przy większych obciążeniach na lampie, podczas gdy mniejsze ognisko stosowano wtedy, gdy trzeba było uzyskać ostrzejszy obraz.

Bardzo istotnym problemem było także stworzenie lepszego systemu ochronnego przed porażeniem wysokim napięciem personelu obsługującego aparaturę rentgenowską. Należy pamiętać, iż w pierwszych latach ubiegłego wieku gołe szklane lampy Coolidge'a pracowały w powietrzu, bez żadnych kołpaków czy głowic. W 1919 r. Harry F. Waite (1874–1846) skonstruował aparaturę z lampą zanurzoną w oleju, który to olej zapewniał lepszą izolację elektryczną jak i chłodzenie lampy niż samo powietrze. Takie rozwiązanie pozwalało na wyprodukowanie bardziej bezpiecznego, a zarazem mniejszego aparatu rentgenowskiego.

Kolejnym wyzwaniem dla firm produkujących lampy rentgenowskie było uzyskanie w lampie dużego prądu anodowego, rzędu setek mA, co pozwalałoby na skrócenie czasu ekspozycji, a także wyższego napięcia przyspieszającego, co umożliwiłoby z kolei prześwietlanie materiałów o większych grubościach. Zwiększenie natężenia prądu anodowego skutkuje większym obciążeniem cieplnym ogniska w tarczy anody. Stąd też w miejsce stałej anody opracowano i wdrożono komercyjnie w 1929 r. lampę z anodą wirującą – była to lampa zwana *Rotalix* firmy Philips. Sama idea anody wirującej znana była dużo wcześniej, bo już w 1897 r. zaproponował ją fizyk z Uniwersytetu Hopkinsa Robert Wood (1868–1955). I aczkolwiek pierwszą konstrukcją lampy z anodą wirującą opracował William Coolidge w 1915 r., to komercyjne wdrożenie tego typu lampy przypisuje się Albertowi Bouwersowi (1893–1972) z firmy Philips – była to anoda wirująca w formie miedzianego cylindra z powierzchnią czołową pokrytą wolframem. Konstrukcję tej anody udoskonalił następnie Alfred Ungelenk (1890–1978), zamieniając cylinder na tarczę o pochylonej płaszczyźnie, czyli tzw. dysk anodowy.

Lampa z anodą wirującą konstrukcyjnie jest bardziej złożona niż lampa z anodą stałą, podstawowym bowiem problemem jest w niej odprowadzenie ciepła. Lampy z anodą wirującą stanowią podstawowe zastosowanie w medycynie, w tym również we współczesnych tomografach medycznych.

Pomimo swojej prostoty, jeśli chodzi o fizyczne działanie ww. lampy rentgenowskiej (z punktu widzenia elektrycznego jest to po prostu dioda lub trioda), to ze względu na szerokie zastosowanie promieniowania rentgenowskiego w różnych obszarach działalności człowieka istnieje duża różnorodność współczesnych lamp rentgenowskich, co przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Podział lamp rentgenowskich ze względu na istotne cechy konstrukcyjne

Ze względu na konstrukcję rozróżnia się lampy:
<ul style="list-style-type: none"> zamknięte (nierozbieralne) otwarte (rozbieralne)
Ze względu na rodzaj obudowy rozróżnia się lampy:
<ul style="list-style-type: none"> nieosłonięte (gołe) obudowane
Ze względu na rodzaj materiału bańki rozróżnia się lampy:
<ul style="list-style-type: none"> szklane metalowo-szklane metalowo-ceramiczne
Ze względu na charakter pracy rozróżnia się lampy:
<ul style="list-style-type: none"> ciągłej okresowej impulsowej
Ze względu na rodzaj katody rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> katodą w postaci żarnika z włókna wolframowego katodą zasobnikową (impregnowaną) katodą z LaB₆ katodą Schottky'ego katodą zimną katodą wykonaną z nanorurek węglowych CNT fotokatodą (lampy rentgenowskie wzbudzane światłem)
Ze względu na liczbę anod rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> pojedynczą anodą podwójną anodą (<i>dual</i>)/z bliźniaczą anodą (<i>twin</i>) wieloma anodami
Ze względu na konstrukcję anody rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> anodą pełną anodą drążoną
Ze względu na stan ruchu anody rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> anodą stałą (nieruchomą); anodą zwykłą, anodą wydłużoną anodą wirującą (tarcza lub cylinder)
Ze względu na materiał anody rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> anodą miedzianą, anodą wolframową anodą molibdenową anodą z RT, RTM, RTMC, TZM²
Ze względu na stan fizyczny materiału tarczowego rozróżnia się:
<ul style="list-style-type: none"> tarczę w postaci ciała stałego tarczę w postaci cieczy tarczę w postaci gazu
Ze względu na materiał tarczy anody rozróżnia się:
Ag, Al, Au, Ca, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Gd, Ge, La, Mg, Mn, Mo, Ni, Nb, Pd, Pt, Re, Rh, Sc, Si, Ta, Th, Ti, Tm, V, Y, Zr, W, tarcze diamentowe, tarcze tlenkowe

² R – Rhenium, T – Tungsten, M – Molybdenum, C – Graphite, TZM – stop Ti (0,5%), Zr (0,08%) i Mo (99,2-00,5%)

Ze względu na kąt nachylenia tarczy stałej rozróżnia się:
0°, 5°, 6°, 6,5°, 7°, 8°, 10°, 11°, 12°, 12,5°, 13°, 13,5°, 14°, 14,5°, 15°, 16°, 17°, 17,5°, 18°, 19°, 20°, 21°, 22°, 23°, 24°, 24,5°, 25°, 26°, 27°, 30°, 32°, 33°, 35°, 40°, 42°, 45°, 55°, 67,5°, 78°, 90° (anoda transmisyjna)
Ze względu na zasilanie rozróżnia się lampy:
<ul style="list-style-type: none"> • dwubiegunowe • jednobiegunowe (uziemiona anoda lub uziemiona katoda)
Ze względu na chłodzenie anody rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> • chłodzeniem powietrznym • chłodzeniem gazowym • chłodzeniem wodnym • chłodzeniem olejowym
Ze względu na położenie okienka rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> • wiązką boczną • wiązką wzdłużną
Ze względu na kształt wiązki promieniowania rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> • wiązką kierunkową (stożkową) • wiązką panoramiczną • wiązką wachlarzową • wiązką punktową
Ze względu na liczbę okienek rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> • jednym okienkiem • dwoma okienkami • trzema okienkami • czterema okienkami
Ze względu na rodzaj materiału okienka rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> • okienkiem berylowym • okienkiem szklanym • okienkiem aluminiowym • okienkiem niklowym • okienkiem tytanowym • okienkiem miedzianym • okienkiem ze stopu Fe/Ni/Co • okienkiem Lindemanna³ • okienkiem diamentowym
Ze względu na położenie ogniska rozróżnia się lampy ze:
<ul style="list-style-type: none"> • stałym ogniskiem • zmiennym ogniskiem
Ze względu na liczbę ognisk (katod) rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> • jednym ogniskiem • dwoma ogniskami • trzema ogniskami
Ze względu na wielkość ogniska rozróżnia się lampy z:
<ul style="list-style-type: none"> • normalnym ogniskiem • miniogniskiem • mikroogniskiem • nanoogniskiem

Zakończenie

Słowa „lampa rentgenowska” są używane w literaturze od samego początku odkrycia promieniowania X, ta właściwa lampa rentgenowska pojawiła się dopiero w 1913 r., a więc ponad 18 lat od tego odkrycia. Trzeba było poczekać na wynalezienie giętkiego włókna wolframowego i wykorzystanie go w zjawisku termoemisji, aby pojawiła się gorąca katoda, emitująca w sposób sterowalny emisję elektronów. Technika ta, mimo wielu udoskonaleń i różnych rozwiązań konstrukcyjnych samej lampy rentgenowskiej pozostaje do dziś niezmienna w większości lamp rentgenowskich na świecie.

Autor sądzi, iż sukces lampy rentgenowskiej typu Coolidge’a był możliwy głównie dzięki temu, że lampa ta tworzyła się bezpośrednio w laboratorium przemysłowym firmy General Electric, podczas, gdy lampa Lilienfelda powstawała w laboratorium naukowym Uniwersytetu w Lipsku, z dala od przemysłu (np. Siemens).

*dr inż. Grzegorz Jezierski,
Politechnika Opolska,
Opole*

Literatura

- [1] Grzegorz Jezierski, Lampy rentgenowskie wczoraj i dziś, materiały niepublikowane, 2013 r.
- [2] <http://www.emory.edu/X-RAYS/century.htm>
- [3] Günter Derfel – Julius Edgar Lilienfeld und William David Coolidge – ihre und ihre Konflikte, Max Planck Institute for the History of Science, 2006 r. (reprint 315)
- [4] <http://www.davison.com/blog/2013/07/01/inventor-monday-william-coolidge-4/>
- [5] <http://www.sciencemuseum.org.uk>
- [6] <http://www.orau.org/ptp/collection/xraytubescoolidge/xraytubescoolidge.htm>

³ Szklane okienko Lindemanna – obecnie nieużywane.