

Zenon E. Roskal

## HISTORIA NATURALNA ŚWIATŁA ELEKTRYCZNEGO. OD LAMPY ŻAROWEJ DO LAMPY LED-OWEJ?

### WSTĘP

Dzieje lampy żarowej (żarówki) są przedmiotem wielu historycznych opracowań, które prezentują perspektywę ukazującą dzieje lamp żarowych w ciągu genetycznym, sięgającym takich źródeł światła sztucznego jak świece i lampy oliwne<sup>1</sup>. Jeszcze częściej, na licznych stronach internetowych, prezentowana jest perspektywa, z której wynalazek lampy LED-owej jest genetycznie powiązany z wynalazkiem żarówki<sup>2</sup>. Technologia oświetlenia elektrycznego radykalnie zmieniła środowisko naturalne człowieka i okazała się tak ważna, że celem wielu prac z historii techniki była próba odpowiedzi na pytanie, kto był wynalazcą żarówki? Kwestia ta dotychczas nie została definitywnie rozstrzygnięta<sup>3</sup>,

1. Por. B. Bowers, *Lengthening the Day: A History of Lighting Technology*, Oxford – New York – Tokyo 1998 (passim), gdzie technologię światła elektrycznego postrzega się w perspektywie ewolucyjnej sięgającej lamp oliwnych i gazowych.
2. R. Schall-Thomas, *A Brief History of the Light Bulb*, 2016 [https://www.linkedin.com/pulse/amazon-may-soon-able-drop-off-package-your-home-leanin-lee, 28.09.2016]; M. Carmichael-Lester, *From Incandescents to LEDs in Commercial Lighting and Beyond*, 2014 [http://www.staples.com/sbd/cre/tech-services/explore-tips-and-advice/tech-articles/the-evolution-of-illumination-from-incandescents-to-leds-in-commercial-lighting-and-beyond.html, 28.09.2016]
3. Najczęściej w tym kontekście pojawiają się postacie Thomasa Edisona (1847–1931) i Josepha Swana (1828–1914), ale przywoływani są także tacy wynalazcy jak Georg Fox-Pitt (1856–1932), William Sawyer (1850–1883), Albon Man (1826–1905), Moses G. Farmer (1820–1893) i Hiram Maxim (1840–1916), por. m.in. J.M. Anderson, J.S. Saby, *The Electric Lamp: 100 Years of Applied Physics*, „Physics Today” 1979, t. 32, s. 33. Kontrowersje są jednak na tyle silne, że nawet w opracowaniach historycznych nie poświęconych wprost dziejom lamp żarowych, a nawet w pracach z fizyki, próbuje się jednoznacznie odpowiadać na pytanie: kto był wynalazcą żarówki? „Należy tu wspomnieć, jako o rzeczy istotnej z historycznego punktu widzenia, że Edison nie był wynalazcą żarówki, chociaż dowodzą tego często i usilnie. W rzeczywistości Joseph Swan uzyskał w 1860 roku żarzenie włókna węglowego w próżni, a w 1878 roku udoskonał swe lampy żarzeniowe i pokazał w Anglii na wystawie. W tym czasie lampa Edisona była dopiero w stadium badań laboratoryjnych”, zob. J. Friend, *Człowiek i pierwiastki chemiczne. Od ognisk epoki kamiennej do cyklotronu*, tłum. S. Bylina, Warszawa 1959, s. 419. *Around 1854, Heinrich Göbel, a German emigrant in the USA, built the first practical incandescent lamps: Carbonized bamboo filaments enclosed in evacuated bottles to prevent oxidation. They were intended to illuminate the shop window of his watch shop in New York City* [„Okolo 1854 roku Heinrich Göbel, emigrant z Niemiec, zbudował pierwsze praktycznie lampy żarowe: zwęglone włókna bambusowe zamknięte w opróżnianych butelkach, aby zapobiec utlenianiu. Miały one na celu oświetlić sklepową witrynę jego sklepu z zegarkami w Nowym Jorku”], zob. P. Flesch, *Light and Light Sources. High-Intensity Discharge Lamps*, Berlin – Heidelberg – New York, 2006, s. 18. Teza, że Heinrich Göbel (1818–1883) był wynalazcą żarówki była szczególnie popularna w nazistowskich Niemczech. W świetle współczesnych badań historycznych teza ta okazała się nie tylko błędem, ale także oszustwem, zob. H.Ch. Rohde, *Die Göbel-Legende – Der Kampf um die Erfindung der Glühlampe*, Springe 2007, passim.

ale nie jest ona istotna dla zrozumienia historycznego procesu, w wyniku którego żarówka stała się przedmiotem powszechnego użytku. Zagadnieniem o wiele bardziej interesującym poznawczo jest odpowiedź na pytanie, czy wynalazek żarówki (lampy żarowej) był warunkiem *sine qua non* wynalazku lampy LED-owej? Rozstrzygnięcie tego problemu w krótkim opracowaniu nie jest możliwe, można jednak nakreślić kierunki badań i naszkicować wstępną odpowiedź na powyższe pytanie.

Wymienione powyżej cele wyznaczają *eo ipso* binarną strukturę artykułu. W pierwszej części artykułu zostanie zarysowana perspektywa, z punktu widzenia której wynalazek lampy LED-owej jawi się jako inwencja techniczna niezależna od wynalazku lampy żarowej. W tej części artykułu podam kilka argumentów na rzecz tezy, że wynalazek techniczny żarówki wymagał wiedzy z zupełnie innych działów fizyki niż wynalazek diod elektroluminescencyjnych oraz wymagał rozwiązania zupełnie innych problemów technicznych. To głównie z tych powodów nie można interpretować wynalazku lamp LED-owych jako efektu udoskonalania lamp żarowych. W drugiej części artykułu zarysuję ciąg odkryć naukowych i wynalazków technicznych, które prowadziły do pierwszych lamp LED-owych. Przedstawię także główne innowacje w zakresie konstrukcji lamp wyładowczych (świelówek), których rozwój był związany z lampami LED-owymi.

## KULISY WYNALAZKU LAMPY ŻAROWEJ (ŻARÓWKI)

Wynalazek lampy żarowej, aczkolwiek współcześnie kojarzony prawie wyłącznie z Thomasem A. Edisonem i sylwestrową nocą 1879 roku w Menlo Park, wiele zawdzięczał utalentowanym i wszechstronnie wykształconym członkom zespołu Edisona<sup>4</sup>, przede wszystkim jednak licznym wynalazcom i uczonym z pierwszej połowy XIX wieku. Trudno jednoznacznie wskazać postać, która mogłaby stanowić *terminus a quo* tego ciągu genetycznego, ale wydaje się, że dopiero Humphrey Davy (1778–1829) zakorzenił ideę, zgodnie z którą możliwe jest skonstruowanie sztucznego źródła światła wykorzystującego prąd elektryczny<sup>5</sup>. Davy zyskał sławę jako uczonek, który rozwiązał problem zagrożenia wybuchem metanu

- 
4. Zespół Edisona uważany za właściwego wynalazcę żarówki składał się w większości z (często genialnych) samouków, którzy jednak nie tylko nie mieli najbardziej aktualnej wiedzy z zakresu fizyki i chemii, ale brakowało im nawet podstawowej wiedzy z zakresu matematyki. Wyjątkiem w tym zespole był Francis R. Upton (1852–1921). Ten absolwent uniwersytetu w Princeton (studiował także jeden rok na uniwersytecie w Berlinie) miał dobre przygotowanie matematyczne i odegrał znaczącą rolę w rozwiązywaniu problemów związanych z lampami żarowymi, zwłaszcza przy udoskonalaniu węglowego włókna żarowego. Został zatrudniony przez Edisona w 1878 roku dzięki rekomendacji Hermanna von Helmholtza (1821–1894). Dom Uptona w Menlo Park był pierwszym prywatnym domem na świecie oświetlonym żarówkami, ale nawet i Upton miał duże trudności ze zrozumieniem zasadniczej odmienności procesów fizycznych prowadzących do emisji światła w tzw. oknie optycznym. Por. m.in. *The Story of Electricity*, red. T.C. Martin, S.L. Coles, New York 1919, t. 1, s. 252, 312, 432.
  5. Punktem wyjścia dla wynalazku żarówki był wynalazek ogniwa galwanicznego (1800), tzw. stos Volty i późniejsze jego udoskonalenia. W tym kontekście należy wymienić nie tylko dobrze znaną postać Alessandra Volty (1745–1827), ale także szkockiego chirurga wojskowego i chemika Williama Cruickshanka (? – około 1810), który ulepszył stos Volty umożliwiając budowę bardzo dużych baterii. Udoskonalone przez Cruickshanka ogniwo galwaniczne (1802) było wykorzystane do badania przepływu prądu elektrycznego, ale już wcześniej stos Volty był wykorzystany przez angielskich i francuskich uczonych, m.in. Williama Nicholsona (1753–1815), Anthony'ego Carlisle'a (1768–1840), François de Fourcroya (1755–1809), Louisa Nicolasa Vauquelina (1763–1829) i Louisa Jacquesa Thénarda (1777–1857). Za wczesnego prekursora idei

w kopalniach (1816, tzw. lampa Davy'ego), ale dla wynalazku lamp elektrycznych niezmiernie ważną okazała się prezentacja, jakiej dokonał na posiedzeniu Królewskiego Towarzystwa Naukowego w 1809 roku<sup>6</sup>. Davy wówczas zademonstrował prototyp lampy łukowej. Wrażenie jakie wówczas wywołał dało impuls do poszukiwania nie tylko udoskonalień tego typu lampy, ale przede wszystkim do poszukiwania innych rozwiązań wykorzystujących prąd elektryczny do generowania światła.

Światło w tzw. oknie optycznym jest generowane m.in. przez promieniowanie termiczne różnych substancji rozgrzanych przepływem prądu elektrycznego. Świecenie, zwłaszcza metali, ogrzanych do wysokich temperatur było zjawiskiem powszechnie znanym. Nowością było wykorzystanie prądu elektrycznego do ich rozgrzania. Wiedza na ten temat była kumulowana sukcesywnie w pierwszej połowie XIX stulecia i zaowocowała patentami z 1841 i 1845 roku.

Frederick W. de Moleyns (1804–1854) uzyskał w Anglii pierwszy patent na produkcję elektryczności oraz jej zastosowanie do oświetlenia i ruchu<sup>7</sup>. Lampa żarowa Moleynsa była wyposażona we włókno zrobione ze zwiniętych platynowych drutów, pomiędzy którymi był umieszczony sproszkowany węgiel. Całość była umieszczona w bańce szklanej, z której zostało odpompowane powietrze. Konstrukcja nawiązywała do pierwszych lamp łukowych Davy'ego, w których elektrody były robione z prętów platynowych lub węglowych, ale także wykorzystywała pomysły Wollastona. Podobną konstrukcję (z platynowym drutem żarzącym się w próżniowej bańce) zbudował już rok wcześniej (1840) pionier astrofotografii<sup>8</sup> – Warren de la Rue (1815–1889), a w 1845 roku Amerykanin John Wellington Starr (1822?–1846) opatentował żarówkę z włóknem węglowym.

Joseph Swann, który dowiedział się o wynalazku Starra z raportu o patentach, rozpoczął wieloletnie badania nad tego typu konstrukcjami i już w 1848 roku udało mu się zbudować funkcjonującą żarówkę z włóknem w postaci zwęglonego papieru i/lub tektury<sup>9</sup> (później także z pergaminu). Swann

---

światła elektrycznego i wynalazku żarówki można także uważać Williama H. Wollastona (1766–1828), który opracował i opatentował metodę obróbki (plastyki) platyny. Wollaston był w stanie wytworzyć bardzo cienkie druty platynowe, które podłączone do ogniwa jego konstrukcji będącego odpowiednikiem tzw. stosu Volty rozgrzewały się do czerwoności i świeciły. Davy platynę wytworzoną metodą Wollastona wykorzystał jako materiał, z którego robił elektrody. Wollastona można zatem uznać za inicjatora wynalazku żarówki. W późniejszym okresie (1835) ważnym wydarzeniem było udoskonalenie baterii przez Williama Sturgeona (1783–1850) polegające na znacznym wydłużeniu jej żywotności. Eksperymenty z udoskonalonymi przez Sturgeona bateriami i węglowymi oraz platynowymi żarnikami należą do prehistorii lamp żarowych. Por. A.K. Wróblewski, *Historia fizyki*, Warszawa 2006, s. 268–270, 284.

6. Ten pokaz był najlepiej przygotowany i najbardziej efektowny. Bateria składała się z 2000 ogniw (par płytek miedzi i cynku) i osiągała moc około 10 kilowatów. Uzyskany łuk elektryczny miał długość około 15 cm. Wcześniej Davy demonstrował łuk elektryczny w 1802, 1805 i 1807 roku. Niezależnie, w 1802 roku łuk elektryczny demonstrował w Petersburgu Wasilij Pietrow (1761–1834). Por. *ibidem*, s. 286.
7. Patent z 21 sierpnia 1841 roku (nr 9053), *Alphabetical Index of Patentees of Inventions*, red. B. Woodcraft, New York 1854, s. 152.
8. Konstrukcja żarówki była peryferyjnym przedsięwzięciem w jego życiu poświęconym konstrukcji i udoskonalaniu różnych urządzeń mechanicznych i astronomicznych teleskopów. Brakuje jednoznacznych świadectw historycznych dowodzących tezy, zgodnie z którą de la Rue była autorem takiej konstrukcji. Twierdzi się nawet, że jest to błąd, który ma swoje źródło w pracy E.J. Huston, *Electricity in Every-Day Life*, New York 1905, t. 2, s. 247. Por. D. Le Conte, *Warren De La Rue – Pioneer Astronomical Photographer*, „The Antiquarian Astronomer” 2011, nr 5, s. 31–32.
9. Por. D. Newton, *Light and Likeness*, „New Scientist” 1978, nr 80, s. 290.

udoskonalął ten wynalazek, a nawet zdobył patent na swoją konstrukcję, ale żarówka Swana była nietrwała z uwagi na niedostateczne odpompowanie powietrza ze szklanej bańki i szybko traciła wydajność świetlną wskutek osadzania się sadzy na wewnętrznej powierzchni lampy. Pierwszy z tych problemów stał się możliwy do rozwiązania, kiedy pojawiły się bardziej wydajne pompy próżniowe<sup>10</sup>. Drugi czekał na rozwiązanie o wiele dłużej<sup>11</sup>. Innym problemem była potrzeba doprowadzenia do żarówki prądu o dużym natężeniu. Na początku przełomowego dla wynalazku żarówki roku (3 lutego 1879 roku) Swann wykonał jednak pokaz użyteczności lamp żarowych swojej konstrukcji w Bibliotece Towarzystwa Filozoficznego w Newcastle.

W tym samym czasie, dla ciągle niedoskonałych żarówek, pojawiła się konkurencja w postaci udoskonalonej lampy łukowej. Udoskonalenia konstrukcji tego typu zaowocowały wynalazkiem Pawła N. Jabłoczkowa (1847–1894), który na trzy lata przed sukcesem Edisona (15 kwietnia 1876 roku) zademonstrował w Londynie urządzenie zwane dzisiaj świecą Jabłoczkowa<sup>12</sup>, na które patent (nr 112024) uzyskał 23 marca tego roku. Lampa łukowa była jednak zupełnie inną konstrukcją niż lampa żarowa i (podobnie jak lampa LED-owa) wykorzystywała inne zjawiska fizyczne w procesie emisji światła. Udoskonalanie tej konstrukcji nie miało wpływu na rozwiązywanie problemów jakie stały przed wynalazcami lamp żarowych, a tym bardziej nie miało związku z procesem tworzenia lamp LED-owych, należy jednak do historii naturalnej<sup>13</sup> światła elektrycznego.

Przełom w rozwoju oświetlenia elektrycznego był uwarunkowany rozwiązaniem szeregu trudności technicznych, specyficznych dla takich technicznych konstrukcji. Rozwiązanie tych problemów

- 
10. Pompy takie zostały zbudowane przez Hermanna Sprengela (1834–1906) w 1865 roku. Wcześniej (1855) Johann H. Geißler (1814–1879) skonstruował rtęciową pompę próżniową i osiągnął rekord niskiego ciśnienia 10 Pa. Por. D. Jenkins, *Dressing for Altitude: U.S. Aviation Pressure Suits, Wiley Post to Space Shuttle*, Washington 2012, s. 18.
  11. Rozwiązaniem było zastosowanie żarników wolframowych i wprowadzenie do wnętrza lampy halogenków, najczęściej jodu, który regeneruje żarnik poprzez recykling atomów wolframu. Rozwiązanie takie zostało opatentowane w 1959 roku przez Elmera Fridricha (1920–2010) i Emmetta Wiley’a. Wcześniej do tego celu (jako halogenek) był wykorzystywany chlor, ale lampy takie, choć opatentowane już w 1882 roku nie znalazły praktycznego zastosowania. Próbowano także wykorzystać brom (John Waring 1862–1901), patent nr 497 038 z 9 maja 1893 roku – „Novak” lamp), ale efekt był podobny. Współczesne lampy halogenowe mają większą skuteczność świetlną i dłuższy czas pracy od tradycyjnych żarówek. Światło tych lamp doskonale oddaje barwy i jest przyjemne dla oka.
  12. Lampa łukowa konstrukcji Jabłoczkowa miała dwie elektrody węglowe. Nowością był kaolinowy izolator między nimi. Wynalazek ten był doskonalony w kolejnych latach, ale już w 1876 roku świece Jabłoczkowa były w sprzedaży, a po wystawie paryskiej z 1878 roku odniosły nawet sukces handlowy. Wykorzystywane były jednak głównie do oświetlenia miejskich placów oraz w latarniach morskich (do połowy 1880 roku, tylko w Rosji, świecami Jabłoczkowa było oświetlanych 500 latarni morskich), gdyż generowały dźwięki o dużym natężeniu i dawały zbyt intensywne światło, problemy stwarzało także zasilanie prądem elektrycznym tych lamp. System Jabłoczkowa wykorzystujący jednofazowy prąd zmienny znany był na zachodzie Europy (w Berlinie) jako „rosyjskie światło” (*russisches Licht*). Por. A. Przytułski, *Z historii rosyjskiej elektrotechniki. Paweł Nikołajewicz Jabłoczkow – konstruktor „rosyjskiego światła”*, „Napędy i Sterowanie”, 2011, nr 5, s. 56; B. Orłowski, *Powszechna historia techniki*, Warszawa 2010, s. 182.
  13. Używam tego terminu jako synonimu terminu „dzieje” abstrahując od ewolucyjnego kontekstu, w którym termin ten na ogół występuje. Termin „historia naturalna” tradycyjnie występował w kontekstach przyrodniczych jako synonim nauk zajmujących się badaniem przyrody lub zmian zachodzących w przyrodzie. Współcześnie termin „historia naturalna” występuje w kontekstach ukazujących ewolucję, np. środowiska naturalnego (*Historia naturalna Polski*), ale także pewnych obiektów konwencjonalnych tj. gwiazdozbiory (*Historia naturalna gwiazdozbiorów*).

pozwoili przede wszystkim na nawiązanie bezpośredniej walki konkurencyjnej pomiędzy elektryczną i gazową technologią sztucznego oświetlenia. Nie należy jednak zapominać, że żarówka stała się konkurencją dla lamp gazowych dopiero wówczas, gdy stworzono pierwszą sieć elektryczną i elektrownię zasilającą. Wszystkie te cele udało się osiągnąć dopiero zespołowi Edisona na przełomie 70. i 80. lat XIX wieku<sup>14</sup>. Dlatego nazywanie Edisona ojcem żarówki, chociaż jest dużym uproszczeniem, jest jednak usprawiedliwione. Wydajność świetlna pierwszych żarówek z włóknem węglowym była jednak bardzo mała<sup>15</sup>. Pierwsze żarówki miały żarniki ze zwęglonej bawełny, a później ze zwęglonych łodyg pewnej odmiany japońskiego bambusa. Poszukiwano zatem nowych materiałów na żarnik.

W 1897 roku profesor chemii z Getyngi Walther Nernst (1864–1941) opracował żarówkę z włóknem zrobionym z ogniotrwałych tlenków metali, głównie cyrkonu (85%), itru i erbu (z grupy metali ziem rzadkich). W 1898 roku Carl Auer von Welsbach (1858–1929) – znany jako konstruktor udoskonalonych lamp gazowych (siatka Auera) – użył jako żarnika osmu, który ma stosunkowo wysoki (3 300° C) punkt topnienia. Na początku XX wieku (1905–1910) popularnym metalem wykorzystywanym jako żarnik był tantal, ale wykonane z niego żarniki były nietrwałe<sup>16</sup>.

Żarniki wolframowe pojawiły się dopiero wówczas, kiedy Franjo Hanaman (1878–1941) i Aleksander Just (1874–1937) wykazali, że można z wolframu utworzyć dostatecznie cienkie zwoje żarnika<sup>17</sup>. Uzyskali węgierski patent (nr 34541) w Budapeszcie (13 grudnia 1904 roku) na wytwarzanie żarnika z wolframu w technologii wolframu spiekanego<sup>18</sup>. Był to wielki sukces, gdyż żarówki z żarnikiem wolframowym miały o wiele większą wydajność świetlną 7,75 lumena z wata i były o wiele bardziej trwałe. Pierwsze żarówki z włóknami wolframowymi były produkowane przez założoną w Budapeszcie w 1897 roku przez Bernharda Béla Eggera (1831–1910) węgierską firmę Tungsram już w 1905 roku.

Dalszych udoskoleń włókna wolframowego dokonał szef laboratorium General Electric William D. Coolidge (1873–1975), który pracował nad metodami plastyki wolframowego żarnika. Uzyskany w 1913 roku przez niego patent (nr 1 082 933) na tę technologię został jednak w 1928 roku przez Sąd Najwyższy USA unieważniony. Istotnych modyfikacji w konstrukcji lamp żarowych dokonali,

14. Szczegóły tego procesu opisane są w monografii R. Friedel, P. Israel, *Edison's Electric Light: Biography of an Invention*, New Brunswick 1986 (passim).

15. Z okazji 50-lecia wynalazku żarówki (1929) zostały wykonane pomiary fotometryczne na replice jednej z pierwszych żarówek. Wydajność świetlna okazała się bardzo niska i wyniosła 1,4 lumena na 1 wat mocy żarówki. Wydajność współczesnych lamp żarowych jest ponad 10 razy większa. Por. J.M. Anderson, J.S. Saby, op. cit., s. 33.

16. Lamy z żarnikiem tantalowym produkowano głównie w Niemczech (Siemens & Halske). Pracujący dla tej firmy Werner von Bolton (1868–1912) odkrył w 1902 roku, że tantalowy żarnik jest o wiele bardziej efektywny niż żarnik węglowy i zwiększa trwałość żarówki, która staje się odporna na wstrząsy. W latach 1905–1911 w USA zużyto ok. 100 funtów drutu tantalowego, co wystarczyło jednak na wytworzenie około 2 mln żarówek z włóknem tantalowym. Por. J. Friend, op. cit., s. 408.

17. Lamy z żarnikiem wolframowym (próbował też chromu, rutenu, irydu i molibdenu) konstruował (jeszcze w XIX wieku, 1890) Aleksander Łodygin (1847–1923), ale były one zbyt kosztowne, aby skierować je do seryjnej produkcji. Uzyskany w USA w 1893 roku na ten wynalazek patent (nr 575 002) został sprzedany w 1906 roku General Electric.

18. Patent ten został odsprzedany w 1910 roku firmie General Electric za sumę 250 tys. dolarów.

pracujący dla General Electric<sup>19</sup>, Irving Langmuir (1881–1957) i Lewi Tonks (1897–1971). Użyli najpierw do wypełnienia bańki szklanej azotu, a później argonu, głównie w celu redukcji matowienia żarówek wskutek parowania wolframu. Zauważyli także, że skrócenie i pogrubienie włókna wolframowego żarnika nie tylko zmniejsza efekt matowienia, ale także zwiększa wydajność świetlną. Żarówki z wolframowym żarnikiem<sup>20</sup> i argonowo-azotowym wypełnieniem są ciągle dostępne, ale wskutek regulacji prawnych ich produkcja w wielu krajach została zatrzymana.

## LAMPY WYŁADOWCZE (ŚWIETLÓWKI) I LAMPY LED-OWE

Wynalazek żarówki nie mógł doprowadzić do konstrukcji lamp LED-owych, rozwój lamp wyładowczych, tzw. świetlówek również nie miał decydującego wpływu na pojawienie się pierwszej lampy LED-owej, aczkolwiek poprzez udoskonalanie luminoforów dzieje lamp wyładowczych i lamp LED-owych są powiązane. U podstaw tych wynalazków leżały odkrycia zupełnie odmiennych zjawisk fizycznych (elektroluminescencja, wyładowania elektryczne w gazach), ale wspólnym elementem było wykorzystywanie luminoforów. Pierwsze rozważania teoretyczne na temat możliwości skonstruowania, innego niż lampa żarowa, elektrycznego źródła światła pojawiły się wraz z odkryciem zjawiska fluorescencji i fosforescencji. Alexandre E. Becquerel (1820–1891) badając te zjawiska pod koniec lat 50. XIX wieku uznał, że można je wykorzystać w konstrukcjach sztucznych źródeł światła. Najwięcej wynalazek lamp wyładowczych zawdzięcza jednak badaniom procesów zachodzących w rozrzedzonych gazach znajdujących się w silnym polu elektrycznym.

Johann H. Geißler, który był wytwórcą instrumentów naukowych zatrudnionym na Uniwersytecie w Bonn w 1855 roku skonstruował bardzo wydajną pompę próżniową, która miała wpływ na dzieje żarówki, ale także wytwarzał rurki szklane, znane współcześnie jako rurki Geißlera. Różnych kształtów rurki szklane były wyposażone w elektrody platynowe. Instrumenty te w poważnym stopniu znalazły się wśród czynników warunkujących wynalazek lamp wyładowczych. Współpracujący z Geißlerem profesor fizyki Uniwersytetu w Bonn Julius Plücker (1801–1868) odkrył zjawisko jarzenia fluorescencyjnego na ściankach rurki szklanej opróżnionej z gazu (rurki Geißlera). Badania te kontynuował jego uczeń Johann W. Hittorf (1824–1914). Największy wkład wniósł jednak w te badania pracujący w Londynie William Crookes (1832–1919). Do praktycznych zastosowań była jednak długa droga.

19. Walka z konkurencją w założonej przez Edisona firmie Edison Electric Light Company, ale przede wszystkim w powstałej 11 stycznia 1892 roku nowej firmie General Electric polegała jednak głównie na walce o patenty na wokandzie sądowej. Firma ta wydała w 1901 roku na procesy sądowe o patenty, których było ponad dwieście, olbrzymią sumę 2 mln USD, co stanowiło więcej niż 16% jej ówczesnej wartości. Jednakże na badania w latach 1878–1881 zespół Edisona wydał także olbrzymią sumę 130 tys. USD – równowartość współcześnie 2,5 mln USD. W 1910 roku w wyniku sporów sądowych o patenty, ale także w wyniku wykupowania patentów i przejęcia firm konkurencyjnych General Electric kontrolowało 97% rynku żarówek elektrycznych, zapewniając sobie monopol w tym lukratywnym interesie na okres prawie pół wieku. Por. L.B. Shaver, *Illuminating Innovation: From Patent Racing to Patent War*, „Washington and Lee Law Review” 2012, t. 69, s. 1928, 1918, 1931. Por. także L.S. Reich, *Lighting the Path to Profit: GE’s Control of the Electric Lamp Industry, 1892–1941*, „Business History Review”, 1992, t. 66, s. 305.

20. Włókna wolframowe w lampach żarowych są bardzo cienkie. Z jednej tony wolframu można wykonać około 50 mln żarówek elektrycznych. Grubsze żarniki występują w lampach rentgenowskich, w których żarniki też były wykonywane z wolframu.

Dopiero na początku ubiegłego wieku Peter Cooper Hewitt (1861–1921) – amerykański inżynier – zdobył w 1901 roku patent (nr 889 692) na wysokociśnieniową lampę rtęciową (fluorescencyjną), w której światło powstaje dzięki wyładowaniu elektrycznemu w parach rtęci. Ten rodzaj lampy, potocznie nazywany rtęciówką, wykorzystuje zjawisko wyładowania łukowego.

Prosta lampa wyładowcza w postaci dwóch elektrod umieszczonych wewnątrz szklanej bańki wypełnionej gazem szlachetnym (zazwyczaj neonem), świecąca dzięki wyładowaniu jarzeniowemu, została wynaleziona w 1910 roku przez Georges'a Claude'a (1870–1960). Wynalazca ten już w 1902 roku uzyskał światło przepuszczając prąd elektryczny przez zamkniętą rurę zawierającą gaz szlachetny (neon). Jego wynalazek został zaprezentowany publiczności w Paryżu 11 grudnia 1910 roku. Claude uzyskał amerykański patent (nr 1 125 476) na ten wynalazek 19 stycznia 1915 roku.

Arthur Compton<sup>21</sup> (1892–1962) w 1920 roku skonstruował niskoprężną lampę sodową, w której zjawisko jarzenia zachodzi w parach sodu. Po raz pierwszy lampy sodowe zostały wyprodukowane do celów komercyjnych przez firmę Philips w Holandii dopiero w 1932 roku. Ten typ lamp wyładowczych charakteryzuje się bardzo dużą skutecznością świetlną. Aktualnie produkowane lampy sodowe osiągają skuteczność świetlną do 206 lm/W, największą spośród praktycznie stosowanych sztucznych źródeł światła.

Współczesną świetlówkę (lampę fluorescencyjną) dającą białe światło stworzono w 1934 roku, ale sukcesywnie ją udoskonalano w następnych latach. George Inman (1895–1972) z zespołem (Richard Thayer, Eugene Lemmers i Willard A. Roberts) opracowali luminofory, które emitowały światło białe pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. Patent na ten wynalazek został przyznany w 1941 roku.

Podstawą działania diod LED jest zjawisko elektroluminescencji<sup>22</sup>, które zostało odkryte już w 1907 roku przez Henry'ego Josepha Rounda (1881–1966), inżyniera pracującego dla Guglielmo Marconiego (był jego osobistym sekretarzem). Round zaobserwował świecenie (żółte światło) w kryształach węglika krzemu (SiC) podczas przepływu przez tę substancję prądu elektrycznego. Wprawdzie efekt świecenia był mały i nie było teorii tłumaczącej to zjawisko, jednak odkrycie zostało opublikowane<sup>23</sup>. Pod koniec lat 20. ubiegłego wieku eksperymentowano także z siarczaniem cynku zmieszonym z miedzią. Eksperymenty takie prowadzili Robert W. Pohl (1884–1976) i Bernard Gudden – fizycy ciała stałego z Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Getyndze. Uzyskane rezultaty były jednak niezadowalające. Radziecki fizyk Oleg Łosiew (1903–1942) niezależnie odkrył zjawisko elektroluminescencji w ciałach stałych w 1923 roku. Zaobserwował, że diody ostrzowe (detektory kryształkowe) emitują światło widzialne. Pod koniec lat 20. ubiegłego wieku opublikował szereg artykułów naukowych na temat zjawiska elektroluminescencji. Elektroluminescencja była

21. Uczony ten uzyskał Nagrodę Nobla z fizyki w 1927 roku za odkrycie zjawiska nazwanego od jego nazwiska efektem Comptona.

22. Termin „elektroluminescencja” po raz pierwszy został wprowadzony w publikacji (z 1936 roku) francuskiego fizyka George'a Destriau (1903–1960) pracującego w Laboratorium im. Marii Curie w Paryżu przy opisie emisji światła ze sproszkowanego siarczany cynku, przez który został przepuszczony prąd elektryczny. G. Destriau, *Recherches sur les scintillations des sulfures de zinc aux rayons*, „Journal de Chemie Physique” 1936, t. 33, s. 587.

23. H.J. Round, *A Note on Carborundum*, „Electrical World” 1907, t. 19, s. 309.

jednak tylko ciekawostką naukową, do czasu wynalezienia technik osadzania cienkich warstw na powierzchni półprzewodnika i odkrycia, że złożenie przewodników, izolatorów i luminoforów może być źródłem długotrwałej emisji światła.

Kamieniami milowymi na drodze do współczesnych lamp LED-owych było skonstruowanie przez Rubina Braunsteina w 1955 roku pierwszej diody dającej światło podczerwone<sup>24</sup> (1955) i wynalezienie (1962) diody świecącej na czerwono Nicka Holonyaka Jr. To właśnie Holonyak w opracowaniach historycznych nazywany jest „ojcem diody elektroluminescencyjnej”. Jego uczeń M. George Craford – pracujący dla Monsanto Company<sup>25</sup> – w 1972 roku skonstruował pierwszą diodę LED dającą światło o barwie żółtej oraz dziesięciokrotnie poprawił jasność świecenia czerwonych i czerwono-pomarańczowych diod elektroluminescencyjnych.

Kolejnym etapem w rozwoju diod LED było wyprodukowanie w 1994 roku przez firmę Lumileds diody o mocy 0,4 W, które to zapoczątkowały całą serię diod o mocach od 0,8 do 6 W – diod dużej mocy. Zmniejszenie kosztów wytwarzania diod elektroluminescencyjnych osiągnięto stosując azotek galu (GaN). Japońscy fizycy pod kierownictwem Isamu Akasakiego z Uniwersytetu w Nagoi oraz zespół pod kierownictwem Shuji Nakamury z Uniwersytetu Kalifornijskiego dokonali przełomu uzyskując diody niebieskie, których światłość była większa o dwa rzędy wielkości. Osiągnięcia te zaowocowały w 2014 roku Nagrodą Nobla z fizyki<sup>26</sup>. Diody świecące na niebiesko były warunkiem uzyskania światła białego. Można takie światło uzyskać mieszając światło czerwone, zielone i niebieskie. Najczęściej świecące na biało lampy LED-owe są jednak konstruowane z wykorzystaniem zjawiska fosforescencji. Niebieska dioda pokrywana jest fluorescencyjnym związkem chemicznym, który absorbuje promieniowanie niebieskie, a następnie reemituje promieniowanie w różnych długościach fal widma światła widzialnego dając światło białe.

Dzięki lampom LED-owym, w połączeniu z systemem baterii słonecznych, można światło elektryczne rozpowszechnić nawet w tych częściach świata, w których nie ma systemów energetycznych. Aktualnie 20% ludności świata ciągle nie ma dostępu do światła elektrycznego. Lampy LED-owe mogą ten stan zmienić<sup>27</sup>.

- 
24. Por. M. Shur, A. Žukauskas, *Light emitting diodes: toward smart lighting*, „International Journal of High Speed Electronics and Systems” 2011, t. 20, s. 231. Warto odnotować, że amerykańscy inżynierowie James R. Biard i Gary E. Pittman już w 1962 roku stworzyli pierwszą lampę LED-ową (patent nr 3 293 513 z roku 1966), która świeciła jednak tylko w podczerwieni.
  25. Pod koniec lat 60. ubiegłego wieku (do roku 1968) diody LED świecące w podczerwieni i w zakresie światła widzialnego były bardzo drogie (około 200 USD za sztukę) i z trudnością znajdowały zastosowanie w wyrobach przemysłowych. Pierwszą firmą, która wprowadziła diody świecące LED do masowej produkcji była Monsanto Company. Inną firmą stosującą w produkcji masowej (w wyświetlaczach alfanumerycznych) diody elektroluminescencyjne był Hewlett Packard. Technologia ta została włączona do produkowanych przez HP pierwszych kalkulatorów kieszonkowych. Na początku lat 70. cena diod LED gwałtownie spadła do około 5 centów za sztukę.
  26. Nagroda, którą Nakamura podzielił z Isamu Akasakim i Hiroshi Amano z Uniwersytetu w Nagoi została przyznana za wynalazek wydajnych diod niebieskich, który umożliwił stworzenie jasnych i oszczędnych źródeł światła białego. Szczegółowo osiągnięcia japońskich fizyków opisuje S. Nakamura i in. w *The Blue Laser Diode: The Complete Story*, Berlin – Heidelberg – New York 2000, *passim*. Por. także M. Sánchez, *And white light was created*, „The Revista Cubana de Física” 2014, t. 31, s. 114–116.
  27. G. Tamulaitis, *LEDs in developing world*, „International Journal of High Speed Electronics and Systems”, 2011, t. 20, s. 357.



## BIBLIOGRAFIA

- Alphabetical Index of Patentees of Inventions*, red. B. Woodcraft, Evelyn, Adams & Mackay, London 1969.
- Anderson J.M., Saby J.S., *The Electric Lamp: 100 Years of Applied Physics*, „Physics Today” 1979, t. 32, s. 33–40.
- Bowers B., *Lengthening the Day: A History of Lighting Technology*, Oxford University Press, Oxford – New York – Tokyo 1998.
- Carmichael-Lester M., *From Incandescents to LEDs in Commercial Lighting and Beyond*, 2014 [http://www.staples.com/sbd/cre/tech-services/explore-tips-and-advice/tech-articles/the-evolution-of-illumination-from-incandescents-to-leds-in-commercial-lighting-and-beyond.html, 28.09.2016].
- Destriau G., *Recherches sur les scintillations des sulfures de zinc aux rayons*, „Journal de Chemie Physique” 1936, t. 33, s. 587–625.
- Flesch P.G., *Light and Light Sources. High-Intensity Discharge Lamps*, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 2006.
- Friedel R.D., Israel P., Finn B.S., *Edison’s Electric Light: Biography of an Invention*, Rutgers University Press, New Brunswick 1986.
- Friend J.N., *Człowiek i pierwiastki chemiczne. Od ognisk epoki kamiennej do cyklotronu*, tłum. S. Bylina, PWN, Warszawa 1959.
- Houston E.J., *Electricity in Every-Day Life*, t. 2, P.F. Collier & Son, New York 1905.
- Jenkins D.R., *Dressing for Altitude: U.S. Aviation Pressure Suits, Wiley Post to Space Shuttle*, National Aeronautics and Space Administration, Washington 2012.
- Le Conte D., *Warren De La Rue – Pioneer Astronomical Photographer*, „The Antiquarian Astronomer” 2011, nr 5, s. 14–35.
- Nakamura S., Pearton S., Fasol G., *The Blue Laser Diode: The Complete Story*, Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 2000.
- Newton D., *Light and Likeness*, „New Scientist” 1978, t. 80, s. 290–291.
- Orłowski B., *Powszechna historia techniki*, Mówią Wieki, Warszawa 2010.
- Przytulski A., *Z historii rosyjskiej elektrotechniki. Paweł Nikołajewicz Jabłoczkow – konstruktor „rosyjskiego światła”*, „Napędy i Sterowanie”, 2011, nr 5, s. 51–56.
- Reich L.S., *Lighting the Path to Profit: GE’s Control of the Electric Lamp Industry, 1892–1941*, „Business History Review”, 1992, t. 66, s. 305–334.
- Rohde H.-Ch., *Die Göbel-Legende – Der Kampf um die Erfindung der Glühlampe*, Klampen Verlag, Springe 2007.
- Round H.J., *A Note on Carborundum*, „Electrical World” 1907, t. 19, s. 309.
- Sánchez M., *And white light was created*, „The Revista Cubana de Física” 2014, t. 31, s. 114–116.
- Schall-Thomas R., *A Brief History of the Light Bulb*, 2016 [https://www.linkedin.com/pulse/amazon-may-soon-able-drop-off-package-your-home-leanin-lee, 28.09.2016]
- Shaver L.B., *Illuminating Innovation: From Patent Racing to Patent War*, „Washington and Lee Law Review” 2012, t. 69, s. 1891–1947.
- Shur M., Žukauskas A., *Light emitting diodes: toward smart lighting*, „International Journal of High Speed Electronics and Systems” 2011, t. 20, s. 229–245.
- Smet P.F., Moreels I., Hens Z. i in., *Luminescence in Sulfides: A Rich History and a Bright Future*, „Materials” 2010, t. 3, s. 2834–2883.

**Tamulaitis G.**, *LEDs in developing world*, „International Journal of High Speed Electronics and Systems” 2011, t. 20, s. 343–358.

*The Story of Electricity, The Story of electricity company*, red. T.C. Martin, S.L. Coles, t. 1, M.M. Marcy, New York 1919.

**Wróblewski A.K.**, *Historia fizyki*, PWN, Warszawa 2006.

Prof. dr hab. Zenon Roskal  
Katedra Filozofii Przyrody  
Instytut Filozofii Przyrody i Nauk Przyrodniczych  
Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II  
Al. Raławickie 14,  
20-950 Lublin  
kronos@kul.lublin.pl