

Rozdział II. Fizyka atomowa i cząsteczkowa

2.1. Dwie rewolucje: maszyny cieplne i elektryczność

Dzięki fizyce dokonały się co najmniej dwie rewolucje w historii ludzkości. Pierwsza z nich, nazwiemy ją lokomocyjną, w połowie XIX wieku. Jeszcze w 1825 roku, Adam Mickiewicz podróżował przez stepy Ukrainy powozem, aby następnie wsiąść w Odessie na statek żaglowy.

„-Wpłynąłem na suchego przestwór oceanu, wóz się nurza w zieloność i jak łódka brodzi”.

Czterdzieści lat później pisał rosyjski poeta Nikołaj A. Niekrasow¹:

„-Lecąc pośpiesznie po torze żelaznym,
Obmyślam pieśni pochwalne.”

Dziś, między Sankt Petersburgiem a Moskwą pociągi mkną z prędkością 220 km/h.

Podstaw rewolucji transportowej można się dopatrywać w połowie XVIII wieku. Wtedy to, w 1763 roku, James Watt² zbudował pierwszą maszynę zamieniającą energię gorącej pary wodnej na energię napędzającą maszyny przemysłowe. Minęło ponad pół wieku, zanim maszyny parowe stały się na tyle ”zgrabne”, aby móc napędzać lokomotywę kolejową³. W 1829 roku G. Stephenson nazwał swoją lokomotywę „Rakieta”; osiągała ona „zawrotną” prędkość 50 km/h. Nie byłoby potęgi Stanów Zjednoczonych, gdyby nie budowana z wielkim trudem linia kolejowa między wschodnim a zachodnim wybrzeżem.



Fot. 2.1. Wykorzystanie maszyny parowej: **a)** samochód strażacki na parę z 1879 roku, „powerhouse” Museum w Sydney; **b)** lokomotywy parowe z początku XX wieku, Muzeum Nauki i Techniki w Mediolanie (Foto MK)

Wiek XIX zakończył się zbudowaniem pierwszych silników samochodowych, benzynowego przez Augusta Otto w 1863 roku i na olej napędowy przez Rudolfa Diesla w 1897 roku. Silnik benzynowy pozwolił braciom Orville i Wilbur Wright, konstruktorom rowerów, na wzniesienie się w powietrze za pomocą samolotu (17 grudnia 1903 r).

¹ Bystro leczu ja po relsom, uczgunnym, dumaju dumu swójú, tłumaczenie dowolne GK

² Od jego nazwiska mamy jednostkę fizyczną *mocy*. W watach mierzymy moc czajnika (500 W), grzejnika pralki (3 kW), moc silnika samochodu (setki kilowatów), statku żeglugi przybrzeżnej (foto 1.2) i moc nadawczą komórki (według norm technicznych do 10 W).

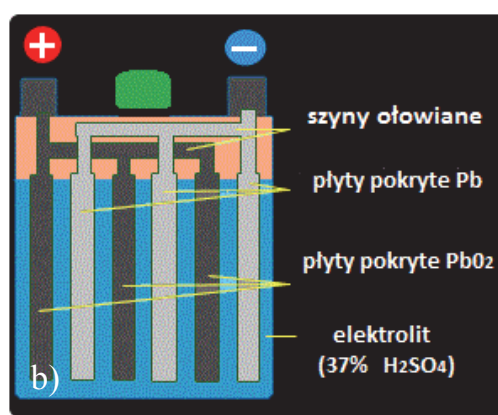
³ 29 IX 1825 – otwarcie pierwszej kolei ze Stockton do Darlington (40 km). Warszawa uzyskała połączenie kolejowe z Wiedniem w 1848 r. Źródło: materiały historyczne PKP <http://www.pkp.pl/node/170>



| Wartość odżywcza | w 100 ml soku |
|-----------------------------------|------------------|
| wartość energetyczna | 224 kJ (53 kcal) |
| białko | 0,4 g |
| węglowodany | 12,0 g |
| w tym cukry | 11,8 g |
| tłuszcz | 0,1 g |
| w tym kwasy tłuszczowe nasycone | 0,02 g |
| błonnik | 1,4 g |
| sód | 0,01 g |
| witamina C | 24 mg / (30%*) |
| * % zalecanego dziennego spożycia | |

Fot. 2.2. Nagrobek Jamesa Joule'a w Opactwie Westminster w Londynie. Joule jako pierwszy zmierzył, jakiej ilości pracy odpowiada jednostka ciepła. Na jego cześć jednostkę pracy (lub energii) nazywamy dżulem. **b)** Opakowanie z napojem czy jakiegokolwiek innym pożywieniem podaje „wartość energetyczną” jednej porcji – najczęściej w kilodżulach (kJ) i kilokaloriach (kcal). Foto AK

Druga rewolucja przemysłowa, związana z użyciem energii elektrycznej miała miejsce w XX wieku (1881 rok – pierwszy tramwaj elektryczny w Berlinie). Podobnie jak pierwsza, korzeniami sięgała sto lat wcześniej. W końcu XVIII wieku, inspektor szkolny z zawodu, Alessandro Volta polemizując z Luigi Galvanim, położył na własnym języku dwa kawałki różnych metali (cyny i srebra) i poczuł „kwaśny smak”⁴. Powstało w ten sposób ogniwo galwaniczne. Poprzez ułożenie większej ilości monet (zob. fot. 2.3) lub umieszczenie par metali (cynk-miedź) w serii szklanek – powstał stos, czyli bateria Volty. Dziś nadal wszystkie komputery i telefony komórkowe korzystają ze źródeł prądu (stałego) w postaci ogniw chemicznych, czyli ogniw Volty.



Fot. 2.3. **a)** Ogniwo Volty: ogniwo zbudowane z monet cynowych i srebrnych przekładanych kartonem nasączonym wodą, Como; **b)** schemat samochodowego akumulatora ołowiowego.

Już w 1803 roku, adwokat z Trydentu, Gian Domenico Romagnosi, zauważył wpływ prądu elektrycznego na igłę magnetyczną⁵. Minęło prawie 30 lat, zanim angielski samouk, Michael Faraday znalazł sposób na wytworzenie prądu elektrycznego z pola magnetycznego. Rozwiązanie było proste: należy poruszać przewodnikiem w polu magnetycznym. Zjawisko

⁴ Doświadczenie to opisujemy w artykule A. Karbowski, G. Karwasz, „Na końcu języka (Volty)”, Foton 96, Wiosna 2007.

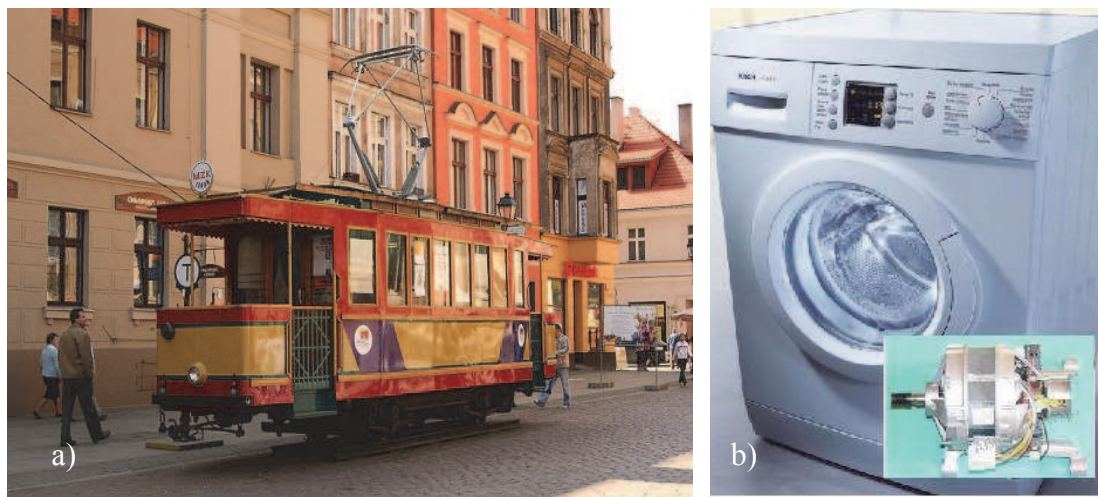
⁵ Doświadczenie powtórzone w 1817 roku przez Hansa Christiana Ørsteda.

to nazywamy indukcją elektromagnetyczną i jest dziś podstawą całej energetyki światowej. Ilość energii elektrycznej, 10 TW wytwarzanej przez elektrownie świata⁶ to aż połowa energii, jaka powstaje w całej skorupie i płaszczu Ziemi wskutek wszystkich zachodzących tam rozpadów promieniotwórczych.

Obie rewolucje z XIX wieku miały za słowa kluczowe „energię” i „pracę”. Mówimy o energii elektrycznej, cieplnej, jądrowej itd. Zaznaczmy jednak bardzo ważne stwierdzenie. Określenie „energia elektryczna” nie oznacza, że jest to jakiś specjalny typ energii – to jedynie jej „forma”. Tak jak formą wody (stanem skupienia) jest lód, ciecz i para wodna. Podobnie energia zmienia jedynie formę. Nie powinniśmy więc mówić „produkcja” energii elektrycznej, ale przetwarzanie energii na jej formę elektryczną. I z tym zastrzeżeniem, dopuszczymy określenia „wytwarzanie” energii, „zużycie” energii itd., mając na myśli różne formy energii.

James Prescott Joule w połowie XIX wieku obserwując, jak grzeją się lufy armatnie podczas wiercenia stwierdził, że praca zamienia się w ciepło. Zmierzył to przeprowadzając stosowne doświadczenie. Czy ciepło również może zamienić się w pracę? Ależ oczywiście! Tak właśnie działają silniki parowe, benzynowe, wysokoprężne. Niestety, o ile cała praca może zamienić się w ciepło, nie całe ciepło może zostać zużyte na wykonanie pracy. Część z tego ciepła musi trafić do chłodnicy. Istnieje więc teoretyczna granica górnej wydajności silników cieplnych. Zależy ona od temperatury (w skali bezwzględnej, czyli w kelwinach K) źródła ciepła i chłodnicy; została przewidziana przez Nicolasa Léonarda Sadi Carnota w 1824 roku, młodego francuskiego naukowca⁷. Podobna teoretyczna granica istnieje dla ogniw fotowoltaicznych, nie tyle zależna od temperatury co od własności materiałów konstrukcyjnych dla tych ogniw: półprzewodników.

Dziś, w przededniu zastąpienia energetyki opartej na spalaniu ropy, węgla i gazu⁸ energetyką opartą na ogniwach foto-woltaicznych kończy się siła napędowa pierwszej rewolucji naukowo – przemysłowej. Druga rewolucja, elektryczna, razem ze zdobyczami fizyki współczesnej, jeszcze nam trochę posłuży. W trzeciej rewolucji, informatycznej – właśnie żyjemy. Zawdzięczmy ją fizyce XX wieku. O narodzinach fizyki współczesnej opowiemy w następnym paragrafie.



Fot. 2.4. Zastosowania energii elektrycznej: **a)** toruński tramwaj z 1911 roku; **b)** silnik elektryczny pralki; pralka „zużywa” sporo energii elektrycznej - 2 kJ na sekundę, czyli ma moc 2 kW (Foto AK)

⁶ TW – terawatt czyli milion milionów watów (10^{12} W)

⁷ Zob. plakat dydaktyczny „Chaud ou froid”, *On the track of the Modern Physics*, http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/130

⁸ Według prestiżowego czasopisma „Nature” z 2003 roku, ludzkość skonsumowała już 50% istniejących zasobów ropy naftowej. Rosną z dnia na dzień odkrywane zasoby, ale ubywa tych już eksploatowanych.

Pytania do samodzielnego studiowania:

1. Odnajdź w literaturze polskiej lub światowej, od Homera do Stanisława Lema, relacje z podróży. Co było środkiem podróży (statek, pociąg itd.)? Opisz, co było źródłem energii napędzającej ten środek, i ile czasu, w przybliżeniu, zajmowało przejechanie/przeplłynięcie określonej odległości.
2. Nanieś na skalę czasu punkty przełomowe zastosowaniach silników cieplnych: wynalazek Watta, pierwszą lokomotywę parową, pierwszy silnik benzynowy, pierwszy samolot, wodowanie „Titanica”.
3. Nanieś na skalę czasu punkty przełomowe w zastosowaniach prądu elektrycznego: wynalazek ogniwa Volty, odkrycie indukcji elektromagnetycznej, pierwszy tramwaj elektryczny, pierwsze oświetlenie elektryczne miasta w USA i Europie.
4. Podaj przykłady urządzeń korzystających z energii elektrycznej, o mocy: setek miliwatów, pojedynczych watów, setek watów, pojedynczych kilowatów, setek kilowatów.
5. Znajdź w internecie różne rodzaje ogniw elektrochemicznych (takich jak ogniwo Volty). Zidentyfikuj w każdym z nich, co jest katodą (czyli elektrodą ujemną), co jest anodą (czyli elektrodą dodatnią), w czym są umieszczone elektrody (czyli co jest elektrolitem).

Pytania na sprawdzian:

1. Opisz, na czym polegały dwie rewolucje przemysłowe oparte o odkrycia fizyki.
2. Podaj jednostki pomiaru energii, mocy, natężenia prądu i napięcia. Podaj przykładowe wartości mocy wybranych urządzeń korzystających z energii elektrycznej.

2.2. Narodziny fizyki współczesnej

Trudno określić dokładny moment narodzin fizyki współczesnej. Często podaje się wykład Maxa Plancka, profesora Uniwersytetu w Berlinie, na posiedzeniu niemieckiego Towarzystwa Fizycznego w czwartek, 5 grudnia 1900 roku. Na wykładzie tym Planck starał się wyjaśnić widmo⁹ tzw. ciała doskonale czarnego¹⁰. Widmo takiego „czarnego” ciała ma specyficzny rozkład – ciągły, jak kolory w tęczy przechodzące jeden w drugi. Światło słoneczne ma właśnie widmo ciągłe, przypominające świecące, rozgrzane ciało czarne: 45% jego energii przypada na zakres widzialny, 50% na dłuższe fale, tzw. promieniowanie podczerwone, a 5% na nadfiolet, zob. ryc. 2.5.

Wiadomo od „zawsze”, że im bardziej rozgrzane ciało, tym świeci bardziej na białą. Kowale od niepamiętnych czasów tak właśnie oceniają temperaturę kutego żelaza: wiśniowy kolor to około 700°C, jasnoczerwony to ponad 800°C, pomarańczowy to około 1000°C¹¹. Planck starał się tym obserwacjom nadać opis matematyczny, wychodząc z dwóch przesłanek: nauki o cieple (termodynamiki) i równań opisujących prawa elektromagnetyzmu, czyli praw Maxwella. Tym ostatnim wypada poświęcić dwa zdania.

⁹ Widmo, czyli zależność natężenia światła od długości fali, czyli koloru światła.

¹⁰ Ciało doskonale czarne to taka konstrukcja wymyślona, dużego pudła z małym otworem. Otwór dla obserwatora na zewnątrz wydaje się całkowicie czarny.

¹¹ Zobaczymy w rozdziale III, że astronomowie w analogiczny sposób oceniają temperaturę powierzchniowych warstw odległych gwiazd.