

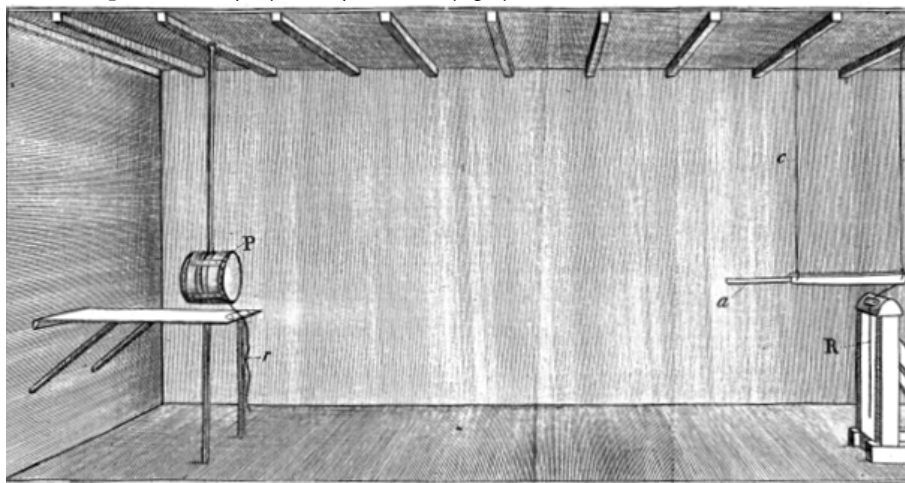
Wstęp

Z edukacyjnego punktu widzenia, można wyróżnić trzy aspekty, które są istotne w odniesieniu do nauczania o energii w gimnazjum: energia jako koncepcja razem z oszczędzaniem energii, energia odnawialna oraz wydajność energetyczna. Celem tego tła historycznego jest stworzenie podstawy do opowiadań, które mogą być opowiadane razem lub osobno, umożliwiając nauczycielom nawiązać do wspomnianych trzech aspektów energii.

Historyk i filozof nauki Thomas Kuhn pokazał, że 12 badaczy może być zidentyfikowanych jako ci, którzy uczestniczyli w tworzeniu zasady zachowania energii¹. Jednym z tych badaczy był James Prescott Joule, który jest uważany za centralną postać na tle pozostałych badaczy. Joule jest centralną postacią, ponieważ to on ustalił mechaniczny równoważnik ciepła – przynajmniej jego standardowe pojęcie. Jednakże, jeśli ktoś przyjrzy się bliżej zagadnieniu ciepła to zauważy, że to nie tylko Joule był odpowiedzialny za uwiarygodnienie swoich prac, ale również William Thomson, który później otrzymał tytuł Lorda Kelvina. Jednak Joule nie zaczynał swoich prac od zera, nawiązał do prac Benjamin Thompsona (Hrabia Rumford), który przeprowadził badania na temat ciepła pod koniec 18 i na początku 19 wieku. Właściwie to Hrabia Rumford oraz Lord Kelvin byli skupieni bardziej na praktycznych celach swoich prac, w przeciwieństwie do Joule'a. Pierwsze znaczące wyniki badań w kierunku odnawialnych źródeł energii mogą być dostrzeżone w pracach francuskiego nauczyciela Augustina Mouchot, który w 1870 przeprowadził badania dotyczące wykorzystania energii słonecznej do celów przemysłowych.

Hrabia Rumford i jego praca nad ciepłem

Prace Rumforda obejmują ogromną różnorodność badań, pracował on bowiem nad zagadnieniem ciepła przez około 25 lat. Jego pierwsze badania w tym zakresie wynikały z kontekstu militarnego: badał jakość prochu (Thompson 1781). W tym celu zawieszał działo w taki sam sposób jak wahadło balistyczne, amplituda drgań tego wahadła po wystrzeleniu prochu służyła jako wyznacznik jego jakości.



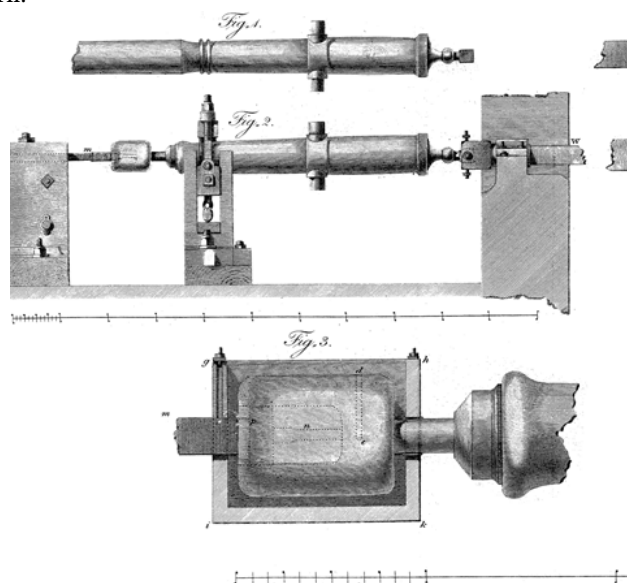
Rysunek 1: Eksperyment Rumforda do badania jakości prochu strzelniczego

Podczas wstępnego badania, które nie jest tak ważne w odniesieniu do energii, jeden szczegół faktycznie jest istotny: Rumford zaobserwował, że armata nagrzewała się mocniej, gdy nie strzelał on pociskiem, ale po prostu powodował eksplozję prochu strzelniczego w beczce (lufie). Przebywając w Monachium był odpowiedzialny za produkcję broni, dzięki czemu dokonał nowej obserwacji, którą zamienił w eksperyment, podczas procesu przewiercania lufy armaty, metal nagrzewał się. W swoim doświadczeniu Rumford użył tępego wiertła w celu zwiększenia ilości produkowanego ciepła. W ten sposób był w stanie podgrzać wodę (była to masa 12 kg), która pierwotnie służyła jako chłodziwo, aż do temperatury wrzenia (Thompson 1798).

W tym samym czasie Rumford wykazał, że pojemność cieplna metalowych opiłków, które były produkowane w procesie przewiercania nie została zmieniona. Z tego eksperymentu Rumford wywnioskował, że ciepło może być produkowane z pracy mechanicznej w nieograniczonej ilości, jako że produkcja substancji materialnych nie była

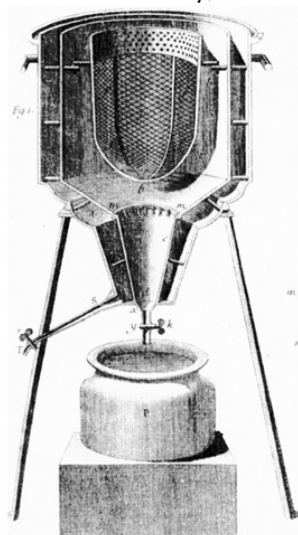
¹ Kuhn T.S. (1959). Energy conservation as an example of simultaneous discovery. In: M. Claggett (Ed.): Critical Problems in the History of Science. Madison: University of Wisconsin Press, 321-356.

zgodna z przyjętym przez Rumforda zrozumieniem. Twierdził również, że ciepło nie jest substancją, ale ruchem najmniejszych cząstek materii.



Rysunek 2: Eksperyment Rumforda polegający na drążeniu otworu w lufie armaty (Thompson 1798)

Głosząc wyżej opisane twierdzenia Rumford był w konflikcie z najbardziej uznaną doktryną dotyczącą ciepła: w 1789 francuski chemik Antoine Laurent Lavoisier opublikował swoją słynną pracę *Traite Elementaire de Chimie* (Lavoisier 1789). W tej monografii, jak również w innych pracach badawczych, Lavoisier użył pojęcia ciepłika. Dla Laurent Lavoisier'a ciepłik jest jedną z „prostych substancji należących do królestwa natury, które mogą być uważane za elementy ciał” (Lavoisier 1790, strona 175). Ta substancja uchodziła za nieważką, i dlatego uważana była za jedną z imponderabiliów. Innymi imponderabiliami były np. materia światła (w nomenklaturze Lavoisiera lumie) oraz jeden lub dwa elektryczne i magnetyczne płyny. Ciepłik został użyty do wyjaśnienia zjawisk powiązanych z ciepłem. Pewne właściwości ciepłika były bardzo podobne do właściwości innej substancji nazywanej flogistonem, chociaż istniały istotne różnice pomiędzy systemem Lavoisiera, a tym stworzonym przez Bechera i Stahla. Odegrało to również rolę w nazwaniu pierwszego instrumentu, który umożliwił pomiar ilości ciepła - kalorymetru (Roberts 1991, patrz również Beretta 2005 lub kalorymetr wodno-lodowy).

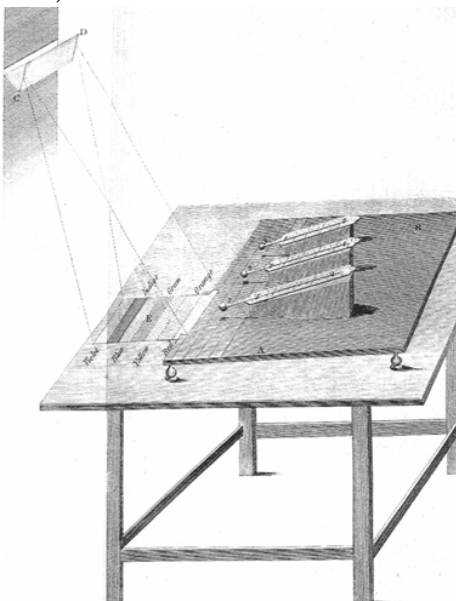


Rys.3. Kalorymetr wodno-lodowy zbudowany przez Lavoisiera i Laplace'a

W dyskusji o pracy Rumforda na temat zachowania energii, ważność pracy Lavoisier'a nie leży w fakcie, że ten system może być postrzegany jako zaakceptowanie nowej teorii – rzeczywiście praca Rumforda nie zmieniła znacznie ówczesnego podejścia do rozumienia ciepła: w pierwszym kwartale XIX wieku, ciepło było substancją materialną i większość badaczy identyfikowała ją z ciepłikiem Lavoisier'a. Ważność pracy Rumforda leżała w postulatcie niezniszczalności pierwiastków. Ciepłik był jednym z pierwiastków Lavoisier'a (nawet jeśli

„imponderabilia”, ale został wymieniony w jego systemie obok takich pierwiastków jak tlen czy żelazo). Było oczywiste, że ciepłik nie może zostać zniszczony ani stworzony. Tak więc idea zachowania w teorii ciepła została ustanowiona.

Podczas gdy eksperymenty Rumforda z przewiercaniem armat mogą być postrzegane w bezpośrednim związku z ustaleniem teorii ciepła, w kontekście projektu badawczego również dwa inne jego projekty badawcze wydają się być istotne, w ogólności analizował on promieniowanie cieplne. Okazało się, że promieniowanie cieplne stało się tematem badań filozofii naturalnej na początku XIX wieku, kiedy to William Herschel (który oprócz tej pracy, najbardziej znany jest z odkrycia Urana) po serii eksperymentów doszedł do wniosku, że promieniowanie słoneczne nie składa się tylko ze światła, ale niesie z sobą również ciepło, które ma swoją największą intensywność poniżej czerwonej części widma (w podczerwieni).²



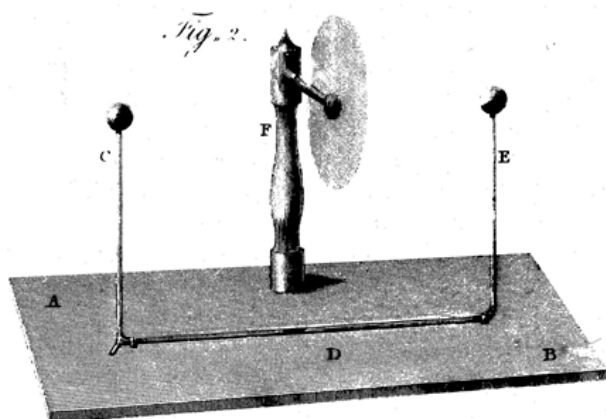
Rys.4. Ustawienie przyrządów w eksperymencie Herschela w celu odkrycia promieniowania cieplnego

„Nowe promienie” stały się tematem dochodzenia dla kilku naukowców, najbardziej znanym był John Leslie, który w 1804 roku opublikował monograf dotyczący tego zagadnienia. Jednakże w 1804 roku Rumford również opublikował swoje dochodzenie, w którym analizował możliwości różnych materiałów do emisji promieniowania cieplnego³. Podczas gdy te badania mogą być postrzegane jako fundamentalne, istnieją również aspekty praktyczne w jego badaniu: było to istotne w odniesieniu do poprawy efektywności pieców, a problemem tym Rumford zajmował się przez dziesięciolecia.

Rumford opracował instrument, który nazwał termoskopem. Instrument ten składał się z szklanej kapilary, która miała kształt litery U. Na obu końcach kapilary umieszczono puste kule. Kule te zostały pocernione, a wykonane były z bardzo cienkiego szkła. Ze względu na zaczernienie, kule szklane absorbowały promieniowanie cieplne, a ponieważ szkło było bardzo cienkie, zaabsorbowane ciepło było „przewodzone” do powietrza wypełniającego kulę. Wzrost temperatury w zamkniętych kapilarach powodował wzrost ciśnienia. W konsekwencji ciśnienie powietrza na każdej stronie kapilary jest powiązane z pochłoniętym promieniowaniem cieplnym.

² Tłem tych eksperymentów był pomysł, aby dowiedzieć się, która część widma z zakresu widzialnego w znaczący sposób może wpływać na soczewki teleskopu z powodu nagrzewania się szkła.

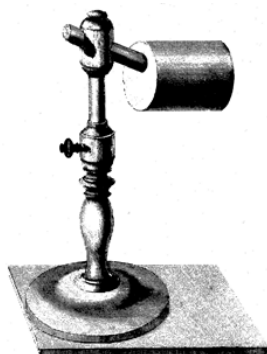
³ Zobacz również Lesli (1804) oraz Rumford (1804), dla dalszej dyskusji tych badań - zobacz Olson (1970).



Rys.5. Termoskop Rumforda

W połowie poziomej części szklanej kapilary umieszczona została kropla alkoholu. Kiedy ciśnienie na końcach kapilary jest różne, kropla przesuwa się w kierunku strony o niższym ciśnieniu. W konsekwencji gaz o niższym ciśnieniu jest sprężany, podczas gdy gaz o wyższym ciśnieniu rozszerza się aż do momentu wyrównania ciśnień po obu stronach. Pomiędzy dwiema szklanymi kulami umieszczona została miedziana tarcza w taki sposób, aby źródło ciepła umieszczone na linii łączącej dwie kule miało wpływ tylko na jedną z kul.

Termoskop został umieszczony w drewnianej ramie. Na obu stronach termoskopu można umieścić źródła ciepła (metalowe puszki wypełnione gorącą wodą), których odległość od szklanych sfer można było regulować. Na początku każdego doświadczenia oba źródła ciepła były umieszczone w tej samej odległości. Ze względu na absorpcję promieniowania cieplnego i wynikającą z tego różnicę ciśnień, kropla alkoholu zaczyna się poruszać. Eksperymentator zwiększa dystans pomiędzy silniejszym źródłem ciepła a termoskopem do czasu, aż kropla alkoholu znajdzie się w początkowym stanie równowagi. Porównanie odległości badanych dwóch źródeł od termoskopu, służy jako wskaźnik ich emisji. Rumford przyjął to jako pewnik, że emitowane ciepło zmniejsza się z odwrotnością kwadratu odległości. Relacja ta została zademonstrowana przez szwajcarskiego matematyka Johanna Heinricha Lamberta, dla spadku intensywności światła wraz z odległością. Prace Lamberta z zakresu fotometrii spokrewnione były z pracami Rumforda. Relacja Lamberta wydawała się wiarygodna również dla promieniowania cieplnego, ze względu na podobieństwo do światła, oraz to, że promieniowanie izotropowe maleje wraz z odwrotnością kwadratu odległości od źródła.



Rys.6. Radiator ciepła Rumforda

Jednak kwestia poprawy efektywności pieców nie ograniczała się do pracy nad promieniowaniem cieplnym i samych pieców. Innymi badaniami, które mogą być postrzegane w tym kontekście, były jego analizy właściwości izolacyjnych różnych materiałów. Te analizy zostały również przeprowadzone wówczas, gdy Rumford był ministrem wojny w Monachium i były w szerszym sensie powiązane z kwestiami wojskowymi. Celem było stworzenie podstaw do określenia najbardziej odpowiedniego materiału na mundury bawarskich żołnierzy. Idealnie byłoby otrzymać tylko jeden rodzaj munduru, który mógłby być odpowiedni zarówno na zimę jak i na lato. Podobnie jak w eksperymencie do analizy promieniowania cieplnego Rumford użył metalowych puszek jako źródeł ciepła. Zostały one pokryte różnymi materiałami odzieżowymi. Po wypełnieniu pojemników ciepłą wodą Rumford obserwował spadek temperatury. W ten sposób udało mu się ustalić najbardziej efektywny sposób zabezpieczenia ludzkiego ciała przed wychłodzeniem. Podsumowując z perspektywy czasu, prace Rumforda mogą być identyfikowane jako punkt

wyjścia dla rozwoju nauk o energii. Prowadził eksperymenty, które wiązały się z sformułowaniem zasady zachowania energii jak również z dziedziny, którą obecnie możnaby nazwać „efektywność energetyczna”, w stosunku do różnych materiałów.

Sformułowanie zasady zachowania energii

Joule rozpoczął swoje badania od analizy silników elektrycznych⁴. Było to bezpośrednio związane z jego pracą w browarach, których właścicielem był jego ojciec. W browarach używane były silniki parowe, które zostały zastąpione przez silniki elektryczne. Potencjał tego nowego urządzenia wydaje się być większy niż silnika parowego. W konsekwencji celem Joule'a było skonstruowanie ekonomicznego silnika elektromagnetycznego. To może wynikać z następujących słów: „trudno mi wątpić, że elektromagnetyzm ostatecznie zastąpi parę do napędzania maszyn. ...ekonomia (silników) będzie w bezpośrednim stosunku do ilości elektryczności, a koszty pracy silnika można będzie zredukować nieskończenie” (Joule 1884, str.14). Idea „ekonomicznego perpetuum mobile” nie jest tylko zapisana w pracach Joule'a, ale wielu uczonych tamtych czasów również miało taką opinię⁵. Joule w końcu doszedł do wniosku (podobnie jak inni uczeni), że cynk, który reaguje w galwanicznych elementach jest znacznie droższy niż paliwo do silnika parowego, który ma wykonać tą samą pracę, co silnik elektryczny. W następnych latach przedmiotem badań Joule'a była produkcja ciepła albo przez prąd galwaniczny w bateriach lub w chemicznym spalaniu; badania te miały charakter ilościowy. Po zakończeniu tych badań, Joule zainteresował się nowym tematem: w 1843 roku z okazji Spotkania Brytyjskiego Stowarzyszenia dla Rozwoju Nauki Joule przedstawił artykuł, który spowodował jego późniejszy sukces. Opisał wyniki swoich badań ogłaszając, że: „udowodnienie, że ciepło jest generowane przez urządzenie magnetoelektryczne i że za pomocą indukcyjnej mocy magnetyzmu możemy zmniejszyć lub zwiększyć ciepło wskutek zmian chemicznych, stało się to przedmiotem wielkiego zainteresowania z zapytaniem, czy istnieje stały stosunek między zmianami chemicznymi, a zyskiem lub stratami mocy mechanicznej” (Joule 1884, str.149). Joule wykonał nowe eksperymenty, aby wykazać istnienie mechanicznego równoważnika ciepła oraz określić jego wartości liczbowe. W pierwszej serii eksperymentów uzyskał współczynnik równy 838 ft-lb/BTU, natomiast w drugiej serii opublikowanej w tym samym artykule uzyskał równą 770 ft-lb/BTU.

Patrząc na opublikowane dane Joule'a daje to pewien wgląd w jego zaplecze teoretyczne. Równoważniki, które obliczył za pomocą danych z artykułu były następujące (w jednostkach ft-lb/BTU): 896; 1001; 1040; 910; **1026; 587; 742** (średnia z 5 eksperymentów); 860 (średnia z 2 eksperymentów); 770. Pogrubione wartości pochodzą z eksperymentów „wykonanych w dokładnie taki sam sposób” (Joule 1884, str. 153). Wydaje się, że ośmielił się podać te dane jako dowód na istnienie jakiegokolwiek równoważnika, innymi słowy, Joule musiał wierzyć w istnienie mechanicznego równoważnika ciepła w celu sformułowania tego wyniku z jego danych. Dane mogą być również interpretowane jako wskazówka, że ilość ciepła wytwarzanego z tej samej mechanicznej pracy może znacznie się różnić, w zależności od jakiegoś nieznanego, lub co najmniej niezrozumiałego parametru. Jednakże Joule przeszedł do sformułowania wniosku, że istnieje mechaniczny równoważnik ciepła i że odchylenia danych są spowodowane błędami odczytu w jego eksperymentach: „przyznaję że istnieje znaczna różnica między niektórymi wynikami, ale uważam że nie większa niż może być przyzwoicie określona biorąc pod uwagę zwykłe braki eksperymentu” (Joule 1884, str. 156).

Chociaż Joule zdawał sobie sprawę z różnic w jego danych, twierdził jednak, że udowodnił istnienie mechanicznego równoważnika ciepła. Dlatego wydaje się prawdopodobne, że on uwierzył w istnienie równoważnika nie na podstawie jego eksperymentalnych danych, ale z innych powodów. Pod koniec jego badań na ten temat, Joule sam dał wgląd w powody deklarując, że był „zadowolony, że „wielkie czynniki natury” są niezniszczalne i jakakolwiek siła mechaniczna jest wydatkowana, to zawsze otrzymujemy dokładny równoważnik ciepła” (Joule 1884, str. 158). To oświadczenie daje wyobrażenie na temat podstaw teoretycznych, które Joule miał na myśli gdy próbował określić mechaniczny równoważnik ciepła. Dla Joule'a nie było to zgodne z jego poglądem na naturę, że wszystko może zostać zniszczone lub stworzone. Było to uosobienie idei zachowania w sposób uniemożliwiający mu przyjąć wszelkie wyjątki od tej zasady. Wydawało się, że było kilka wyjątków, takich jak na przykład generowanie ciepła przez maszynę magnetoelektryczną. Dlatego też było koniecznym dla Joule'a opracowanie nowego pomysłu, idei przemian równoważnych czynników które nazywał „wielkimi czynnikami natury”. Ten pomysł, równoważnik transformacji to wielki koncepcyjny krok, który był niezbędny, aby przyjąć zasadę zachowania ciepła (ciepłika w sensie Lavoisiera), aby przyjąć zasadę zachowania energii.

⁴ Dla studiów początkowej historii silników elektrycznych zobacz w szczególności Schiffer (2008).

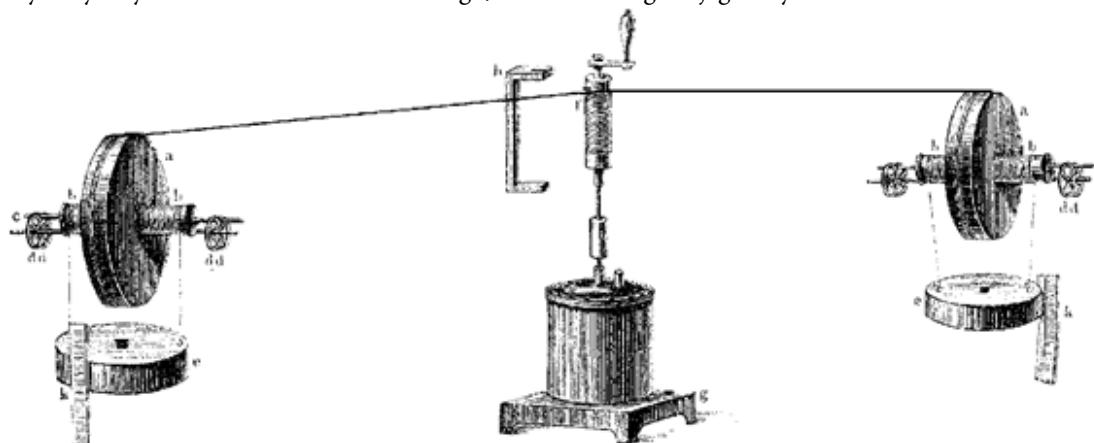
⁵ To nie może być mylone z naukowym perpetuum mobile, skoro Breger powiedział: „Oczywiście Joule nie miał zasadniczych wątpliwości do perpetuum mobile w tym czasie, oczywiście on myślał, że niewyczerpane źródła mocy są do wykorzystania” (Breger 1982, str. 194).

W 1843 roku Joule opublikował artykuł, który nie wzbudził wielkiego zainteresowania w świecie nauki. W kolejnych latach Joule opublikował kilka artykułów, opisujące swoje różne eksperymenty, które wykonał, aby wyznaczyć ze zwiększoną precyzją wartość mechanicznego równoważnika ciepła. Dwa jego artykuły są godne uwagi z kompletnie różnych powodów. Jeden z tych artykułów został opublikowany w *Philosophical Transactions* w 1850 roku, został zatytułowany „w sprawie mechanicznego równoważnika ciepła”. W tym artykule Joule opisał w szczególności swoje eksperymenty ze znanym kołem łopatkowym. Artykuł ten zawierał dane uzyskane przez Joulea, obliczenia mechanicznego równoważnika oraz szczegółowy opis układu eksperymentalnego. Dodatkowo Joule opisał swoje eksperymenty badające tarcie rtęci oraz żeliwa. W ten sposób publikacja tego artykułu w prestiżowym *Philosophical Transactions* może być postrzegana jako silny wskaźnik akceptacji prac Joulea przez brytyjską społeczność naukową. Drugą ważną pracą Joule zaprezentował na dorocznym spotkaniu brytyjskiego Towarzystwa Naukowego. Jako jego biograf D. Cartwell zauważył, że: „Joule uważał, że jego referat nie zostałby zauważony gdyby nie młody mężczyzna z tyłu sali, który wstał i zadawał dociekliwe pytania, które spowodowały żywe zainteresowanie referatem” (Cartwell 1989 str. 83). Tym młodym człowiekiem był William Thompson, później Hrabia Kelvin. Był on jednym z najbardziej wpływowych naukowców i ponadto był pierwszym, który zainteresował się pracami Joule’a. Chociaż na początku nie zgadzał się z ideą Joule’a, to później przekonał się i nie tylko wspierał pracę Joule’a, ale również rozpoczął owocną z nim współpracę.

Thompson który był szkolony we Francji, gdzie zapoznał się z twórczością Victora Regnaulta oraz Sadi Carnota, był sceptyczny do eksperymentalnego twierdzenia Joule’a. Ten ostatni wykazał, że praca silnika parowego zależy od różnicy temperatur, a więc praca nie jest równoważna określonej ilości ciepła, ale zależy od różnicy temperatur. Tylko wtedy, gdy zostało wprowadzone pojęcie energii i rozpraszania energii (i w tym entropii), wyniki uzyskane zarówno przez Joule’a, jak i Carnot’a nie były już sprzeczne. W pewnym sensie ta niespójność razem z rosnącą akceptacją koncepcji energii wywołała rozwój samej koncepcji energii. Podczas współpracy z Joulem Thompson przekonał się, że wyniki uzyskane przez Joule’a są poprawne i ważne, w następstwie czego poparł Joule’a w środowisku naukowym.

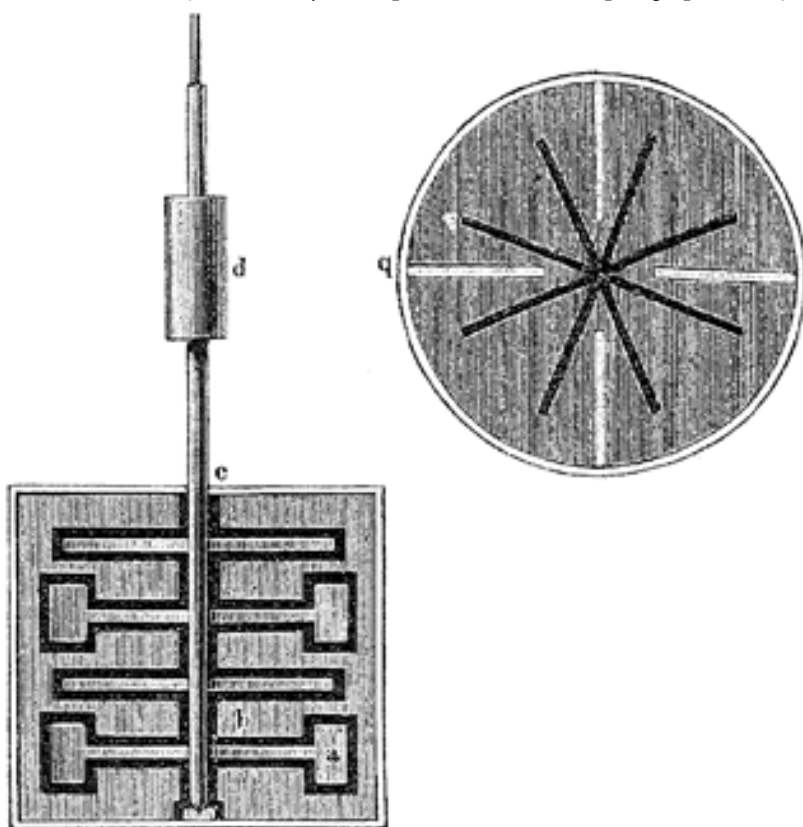
Aspekt ten jest istotny dla przyjęcia pracy Joule’a w brytyjskim środowisku naukowym: ignorowanie jego odkryć można częściowo wytłumaczyć tym, że Joule był właścicielem browaru w Manchesterze. Nawet, mimo że okazało się to być ważne dla zasobów eksperymentalnych Joule’a (które będą opisane później), również spowodowało to trudności: nawet, mimo iż koncepcyjne trudności odegrały pewną rolę, to także pozycja społeczna Joule’a była istotna. Nie był on wykształconym naukowcem ale bardziej „dżentelmenem nauki” bez naukowego CV i stanowiska, choć było to standardem w 18 i na początku 19 wieku (w połowie wieku ta sytuacja się zmieniła). Nauka stawała się coraz bardziej profesjonalna w Wielkiej Brytanii, a część tej profesjonalizacji była uzyskana poprzez ograniczenie nauki do profesjonalnych praktyków. Były oczywiście wyjątki, przede wszystkim Michael Faraday. Jednakże kiedy Joule zaczął publikować na temat równoważnika ciepła, jego status społeczny był na pewno problemem. Z drugiej jednak strony William Thompson był dobrze wykształconym młodym profesorem Uniwersytetu w Glasgow i pomimo jego młodego wieku już dobrze ustabilizowanym w społeczności naukowej. Tak więc, Joule miał nie tylko indywidualne wsparcie Thompsona, ale również wspierali go naukowcy z jego statusu. W związku z tym, wsparcie prac Joule’a przez Thompsona przyczyniły się do potwierdzenia prac Joule’a.

To nie tylko kwestia statusu społecznego jest interesująca w pracach Joule’a, to również kwestia jego znakomitych doświadczeń. W celu zobrazowania eksperymentu Joule’a należy zwrócić uwagę na Rys.7., który przedstawia perspektywistyczny widok układu doświadczalnego, zamieszczonego w jego artykule.



Rys.7. Urządzenie badawcze Joule’a, koło łopatkowe

Oznaczenia na rysunku: (aa) drewniane koło łopatkowe o średnicy 1 stopy i 2 cali grubości z drewnianymi wałkami (bb, bb) o średnicy 2 cali i stalowe osie (cc, cc) o średnicy ¼ cala. Łopatki zostały tak skonstruowane, że są identyczne względem siebie. Osie były podparte przez mosiężne koła cierne (dddd, dddd), oś każdego z nich obracała się w otworach wywierconych w mosiężnych płytach, przymocowanych do wytrzymałego drewnianego stołu, który był przymocowany do ściany laboratorium. Obciążniki (e, e) były zawieszane za pomocą sznurka na wałkach (bb, bb). Cienki i delikatny sznurek przymocowany został do łopatek (aa), łącząc je z centralnym wałkiem (f), który za pomocą szpilki mógł łatwo być połączony (lub odłączony) do osi układu ciernego. Układ ten został schematycznie pokazany na Rys. 8 (z lewej) w pionie i na Rys. 8. (z prawej) w poziomie. Układ składał się z mosiężnego koła łopatkowego wyposażonego w 8 kompletów po cztery obracające się ramiona i 4 kompletów po cztery nieruchome łopatki. Mosiężna oś mogła poruszać się swobodnie i była podzielona na dwie części, aby uniknąć przewodzenia ciepła w tym kierunku. Koło łopatkowe zostało zamocowane do miedzianego naczynia z dwoma otworami w pokrywie, jeden otwór do umieszczenia osi, a drugi do umieszczenia termometru. Podczas eksperymentu obserwator był oddzielony od układu badawczego dużym drewnianym ekranem przymocowanym do stołu, w celu uniknięcia oddziaływania promieniowania ciepłego pochodzącego od obserwatora na układ.



Rys.8. Koło łopatkowe Joule'a

Na początku eksperymentu mosiężne naczynie było wypełnione sześcioma litrami wody. Kiedy cały układ znajduje się w równowadze termicznej mierzona jest temperatura wody i otoczenia, a następnie usuwany jest termometr z naczynia. Sznur o długości około 1m, na którym wisi około 26 kg masy, zostaje nawinięty na koło tak, że spadająca masa obraca kołem łopatkowym, które miesza wodę. Procedura powtarzana jest 20 razy. Potrzeba na to około 35 minut, aby zrealizować 20 powtórzeń. Po zakończeniu doświadczenia, według danych Joule'a, można zmierzyć wzrost temperatury wody o około 0.5 °C.

Analizując ten eksperyment można zauważyć kilka ciekawych i godnych uwagi szczegółów, które pokazują wyjątkową sytuację Joule'a. Otóż mógł on zatrudniać najbardziej wykwalifikowanych rzemieślników, którzy byli pod ręką w przemysłowym mieście, jakim był z całą pewnością Manchester. Lutnik John Benjamin Dancer był w stanie stworzyć niezwykle czułe termometry. Ich czułość była niezwykła: „Dwa termometry Joule nabył w 1844 roku, uważał że były to pierwsze dokładnie skalibrowane termometry w Wielkiej Brytanii ...” (Cardwell 1989, str. 234). Termometr, który służył do zmierzenia temperatury wody miał długość 87 cm i miał zakres od zera do około 29,44 °C (patrz Ashworth 1930). Joule napisał, że „stała praktyka pozwoliła mi odczytać gołym okiem temperaturę z

dokładnością do około 1/20 podziałki, co oznaczało dokładność 1/200 °F, była to odczuwalna/pokaźna temperatura” (Joule 1884, str.303). Z takim stopniem dokładności mierzona temperatura wody była jednak daleka od wartości stałej. W związku z tym procedura ustalenia temperatury wody nie była łatwa. Zamiast czekać aż słupki rtęci w termometrze przestanie się poruszać i następnie odczytać temperaturę, Joule musiał znaleźć inne sposoby na określenie momentu kiedy termometr i woda były w stanie równowagi termicznej. Jak wykazał Sibum, mierzenie temperatury było częścią kultury browarniczej, a tym samym Joule posiadał odpowiednie kompetencje w zakresie prowadzenia pomiaru pochodzące z jego doświadczenia zawodowego.

Istnieją jeszcze inne aspekty, które pokazują że eksperyment został osadzony w kulturze piwowarów: Joule używał naczynia miedzianego bez izolacji, mimo że pokój nie powinien mieć żadnego wpływu na stan termiczny wody. To może wydawać się niezwykle, zwłaszcza gdy weźmie się pod uwagę fakt, że Joule używał drewnianego ekranu do ochrony naczynia przed promieniowaniem ciepłym z ciała eksperymentatora. Jednakże miedziane naczynie jest powszechnie używanym narzędziem w produkcji piwa, dzięki czemu Joule był bardzo biegły w kontrolowaniu sytuacji termicznej w takich naczyniach. Izolowane naczynia (które nie były doskonale odizolowane), nie były znane jako „system” dla Joule’a.

Ale też są istotne materialne kwestie w browarnictwie w Manchesterze, które pozwoliły Joule’owi na pomyślnie przeprowadzenie eksperymentów. Joule potrzebował pomieszczenia z ogromną pojemnością cieplną, w przeciwnym razie ciepło produkowane przez ludzkie ciało podczas podnoszenia obciążników mogło wpłynąć na temperaturę w pokoju, a tym samym znacząco zmienić wyniki eksperymentu. Takie pomieszczenia istnieją w browarach: (w podziemiach, w których przechowywane jest piwo). Pomieszczenia te posiadają ogromną pojemność cieplną, a tym samym niemal jednolity rozkład temperatury, dlatego też panowały tam idealne fizyczne warunki, które były konieczne do uzyskania wiarygodnych danych. Ponadto Joule współpracował z browarniczym kolegą, który pomagał mu podnosić obciążniki. Wymagało to odpowiednich umiejętności, ponieważ obciążniki były ciężkie, a podnoszenie ciężaru musiało być szybkie i kontrolowane. Joule nie był fizycznie w stanie do wykonania tej czynności, a ponadto był dżentelmenem i wykonywanie takiej pracy nie odpowiadało jego statusowi społecznemu⁶.

Rozpoczęcie badań nad odnawialnymi źródłami energii

W połowie XIX wieku industrializacja postępuje z dużą prędkością. Jednym ze skutków ubocznych tego procesu jest konieczność zapewnienia paliwa do silników, które były głównym źródłem energii w fabrykach. Dla Francji zaczął stwarzać się poważny problem, ponieważ złoża węgla okazały się ograniczone i zostały prawie wyczerpane. Problem ten potęgował fakt, że potencjalny import węgla mógł pochodzić tylko z Anglii – od tradycyjnego (gospodarczego) rywala Francji. W związku z tym, rząd francuski obiecuje wsparcie finansowe dla każdego badacza, który proponuje dobry pomysł jak uniknąć uzależnienia Francji od angielskiego węgla.

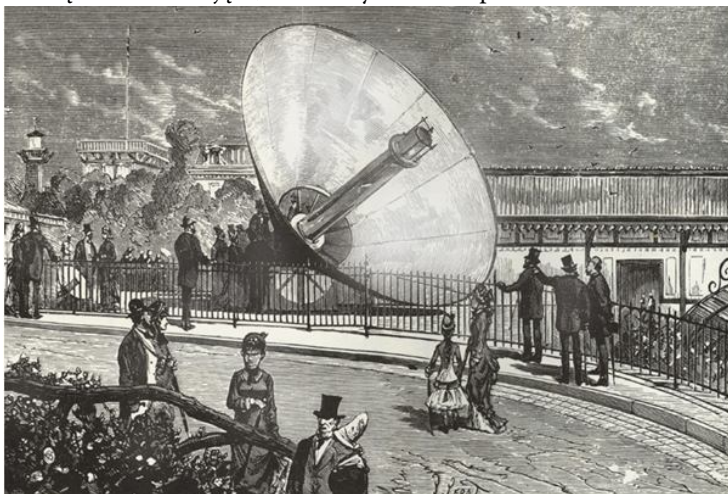
Było to w czasie, kiedy francuski nauczyciel liceum -Augustin Mouchot „wszedł na scenę”. Mouchot połączył dwa urządzenia, które znane były wcześniej: poczerniony, wydrążony cylinder zawierający wodę - podobne urządzenie było używane do końca XVIII wieku przez Horacego Benedykta de Saussure’a dla dokonywania eksperymentów z promieniowaniem ciepłym. To urządzenie połączył z lustrem wklęsłym, które zostało użyte do skoncentrowania promieniowania słonecznego na cylindrze. Już w 1861 roku, Mouchot był w stanie przy pomocy tego urządzenia wytworzyć parę. W kolejnych latach, chciał poprawić swój układ, aby uczynić go bardziej użytecznym do celów technicznych. Jego próby były wspierane finansowo przez rząd francuski.



Rys.9. Okładka popularnego magazynu pokazująca urządzenie Mouchot’a

⁶ Podobnie Joule nie wspomina osoby, która wykonywała fizyczną pracę w eksperymentach, które doprowadziły do odkrycia, które obecnie znane jest jako efekt Joule’a-Thomsona (zobacz Sichau 2000).

Dwa efekty prób Mouchota mogą być nazwane jako wyniki bezpośrednie: Z jednej strony, Mouchot był w stanie skonstruować słoneczne urządzenia do gotowania, przedmioty, które były wykorzystywane w szczególności w armii francuskiej w swoich koloniach w Afryce Północnej. Urządzenia te pozwalały przygotować żołnierzom ciepłe posiłki bez dymu, co stanowiło szczegól, istotny z wojskowego punktu widzenia. Kuchenki te były wykorzystywane aż do 20 wieku. Innym wynikiem prób Mouchota była konstrukcja silnika parowego, który pracował używając parę, wytwarzoną przez jego słonecznej aparaturę. Mouchot opracowali kilka silników, największy został pokazany na światowej wystawie w Paryżu w 1878 roku. Stożkowe lustro miało wówczas średnicę około pięciu metrów, a silnik mógł być stosowany jako urządzenie drukujące, a także był w stanie produkować lód!



Rys.10. Aparatura Mouchota na Światowej Wystawie w Paryżu

Mouchot został nagrodzony złotym medalem za to urządzenie. Jednak w tym czasie, wszystko się zmieniło po raz kolejny. Głównym problemem związanym z maszyną Mouchota było lustro, które pokryte było warstwą srebra – a ta miała tendencję do utleniania, tym samym zmniejszając wydajność maszyny i wymagała stałego czyszczenia zwierciadła. Jednak inna sprawa okazała się dużo bardziej problematyczna dla Mouchota: Górnicy znaleźli nowe złoża węgla we wschodniej Francji, w konsekwencji, konieczność znalezienia alternatywnego źródła energii dla silnika parowego dłużej już nie istniała. Ponadto, w raporcie o maszynie Mouchota napisano, że jest ona ekonomicznie nieefektywna. W rezultacie, rząd francuski zaprzestał wspierania badań Mouchota finansowo, co spowodowało koniec jego pracy.

Literatura:

- Brown, S. C. (1981). Benjamin Thomson, Count Rumford Cambridge USA: MIT Press.
- Ashworth, J. R. (1930). Joule's Thermometers in the Possession of the Manchester Literary and Philosophical Society. *Journal of Scientific Instruments*, 7(11), 361–363.
- Ashworth, J. R. (1931). A List of Apparatus now in Manchester which belonged to Dr. J. P. Joule, F.R.S., with Remarks on his M.S.S., Letters, and Autobiography. In: *Manchester Memoirs*, 75(8), 105.
- Beretta, M. H. (2005). Lavoisier in Perspective. München: Deutsches Museum.
- Breger, H. (1982). *Die Natur als arbeitende Maschine*.
- Brown, S. C. (1979). *Benjamin Thomson, Count Rumford*. Cambridge, Mass., London: MIT Press.
- Goldfarb, S. G. (1977). Rumford's Theory of Heat: A Reassessment. *British Journal for the History of Science*, 10, 25–36.
- Heering, P. (1992). On J. P. Joule's Determination of the Mechanical Equivalent of Heat. In Skip Hills (Ed.). *The History and Philosophy of Science in Science Education*, Vol. 1. Kingston, Ontario, 495–505.
- Joule, J. P. (1850). On the Mechanical Equivalent of Heat. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 140, 61–82. Reprinted in Joule, J. P. (1884). *The Scientific Papers*.
- Kuhn, T. S. (1959). Energy conservation as an example of simultaneous discovery. In M. Clagett (Ed.). *Critical Problems in the History of Science*. Madison: University of Wisconsin Press, 321–356.
- Leslie, J. (1804). *An experimental inquiry into the nature and propagation of heat*. London: Printed for J. Mawman.

- Mouchot, A. (1869). *La chaleur solaire et ses applications industrielles*. Paris.
- Olson, R. G. (1970). Count Rumford, Sir John Leslie, and the Study of the Nature and Propagation of Heat at the Beginning of the Nineteenth Century. *Annals of Science*, **26**, 273–304.
- Roberts, L. (1991). A Word and the World: The Significance of Naming the Calorimeter. *ISIS* **82**, 198–222.
- Schiffer, M. B. (2008). *Power struggles: scientific authority and the creation of practical electricity before Edison*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Sibum, H. O. (1995). Reworking the Mechanical Value of Heat: Instruments of Precision and Gestures of Accuracy in Early Victorian England. *Studies in the History and Philosophy of Science*, **26**, 73–106.
- Sichau, C. (2000). Die Joule-Thomson-Experimente: Anmerkungen zur Materialität eines Experiments. *NTM* **8**, 223–243.
- Smith C & Wise MN (1989): *Energy and Empire: –A biographical study of Lord Kelvin* (Cambridge University Press, Cambridge New York Port Chester Melbourne – Sydney
- Thompson, B (1781): *New Experiments upon Gun Powder, with Occasional Observations and Practical Inferences; To Which are Added, an Account of a New Method of Determining the Velocitie of All Kinds of Military Projectiles, and the Description of a Very Accurate Epreuve for Gun Powder*. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **71**, 229–328
- Thompson, B. (1798). "An Inquiry concerning the Source of the Heat Which is Excited by Friction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **88**: 80–102.
- Thompson, B (1804): *An Enquiry concerning the Nature of Heat, and the Mode of Its Communication*. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **94**, 77–182.

Tło historyczne: Energia zostało napisane przez prof. Petera Heeringa przy wsparciu Komisji Europejskiej (projekt nr 518094-LLP-1-2011-1-GR-COMENIUS-CMP) i Uniwersytetu we Flensburgu, Niemcy. Publikacja odzwierciedla jedynie poglądy autorów i Komisja Europejska nie może być odpowiedzialna za jakiegokolwiek wykorzystanie oparte na informacjach w niej zawartych.