

Pierre Simon de Laplace i czarne dziury

Marta Emilia Bielińska

Instytut Fizyki UJ

1. Wprowadzenie

Czasami wydaje się, że wielkie odkrycia od samego początku zyskują uznanie w naukowym świecie i prowadzą do zapisania nazwisk naukowców na kartach historii nauki. Okazuje się jednak, że badaniom uważanym z naszej perspektywy za doniosłe, nie zawsze towarzyszą pozytywne emocje od momentu ich dokonania. Czasem są one niedocenione do tego stopnia, iż sami ich twórcy nie dostrzegają ich istotnego miejsca w nauce. Innym razem zostają one porzucone z odmiennych powodów: niezgodności z ówczesnym paradygmatem, czy też zwyczajnej utraty zainteresowania nimi. Odchodzą one w niepamięć, a naukowcy koncentrują się na innych zagadnieniach, które w przyszłości okażą się być mało interesujące. Tak stało się w przypadku przewidywań dotyczących istnienia czarnych dziur.

Często ulega się błędnemu przekonaniu, że cały dorobek danego naukowca sprowadza się do kilku twierdzeń powtarzanych z akademickich katedr. Tymczasem w czasach nowożytnych, twórcy pisali liczne teksty dotyczące również filozofii czy teologii, a granice między tymi dziedzinami nie były jasno wyznaczone. Tak było również w przypadku Laplace'a. Większość z jego pomysłów nigdy nie została rozpowszechniona w szerszych kręgach. Część z nich – jak możliwość istnienia pewnych szczególnych masywnych gwiazd, których nie można zobaczyć z powierzchni Ziemi – jest odkrywana dopiero w dzisiejszych czasach.

2. Laplace – odkrywca czarnych dziur?

Pierwsze pomysły opisanie gwiazd niewidzialnych z powodu silnego oddziaływania grawitacyjnego, które nie pozwala na dotarcie do nas cząstek światła, przedstawił John Michell (1784)¹. Niedługo później, prawdopodobnie niezależnie od Michella, do podobnych rozważań doszedł inny francuski badacz – Pierre Simon de Laplace. Wzmianka o niewidzialnych gwiazdach pojawia się w *Exposition du Système du Monde (Przedstawienie systemu świata)*, a konkretnie w kilku pierwszych wydaniach: dwóch francuskich (1796, 1798) oraz angielskim tłumaczeniu tekstu z 1796 (wydanym w 1809). W kolejnych prze-

¹ Badania na ten temat można znaleźć w takich tekstach, jak na przykład (Montgomery, Orchiston, Whittingham 2009), (Gibbons 1994), (Thorne 1994).

drukach (np. tekście francuskim z 1808, czy angielskich tłumaczeniach z 1809 i 1830), ten wątek jest nieobecny. Cała wzmianka zajmuje tylko kilka zdań:

Świetlista gwiazda, o tej samej gęstości co Ziemia i średnicy dwieście pięćdziesiąt razy większej niż średnica Słońca, nie pozwoli – w wyniku przyciągania własnego – na dotarcie do nas jakichkolwiek jej promieni; z tego powodu jest możliwe, że największe ciała świetliste we wszechświecie są niewidoczne². (Laplace 1809, s. 367)

W klasycznej teorii grawitacji Isaaca Newtona cząstka w spoczynku daleko od centrum grawitacji ma całkowita energię równą zero

$$E = -\frac{GMm}{r} + \frac{mv^2}{2} = 0,$$

stąd mamy:

$$v^2 = \frac{2GM}{r}.$$

Promień Schwarzschilda r_{schw} jest odległością od centrum przyciągania, w której prędkość cząstki jest równa prędkości światła w próżni $v = c$. Stąd

$$r_{schw} = \frac{2GM}{c^2}.$$

Laplace przewidział zatem istnienie ciał, których siła przyciągania grawitacyjnego jest na tyle duża, że są one niewidoczne – gdyż cząstki światła nie są w stanie do nas dotrzeć.

To jedno zdanie Laplace'a pewnie nie zostałyby zauważone, gdyby nie Franz Xaver von Zach, który poprosił Laplace'a o rozwinięcie tej myśli. W ten sposób powstał artykuł *Beweis des Satzes, dass die anziehende Kraft bey einem Weltkörper so gross seyn könne, dass das Licht davon nicht ausströmen kann*, opublikowany w niemieckim czasopiśmie *Allgemeine Geographische Ephemeriden* (Laplace 1799). Fizyk nie tylko doprecyzował w nim wcześniejsze przewidywania, ale przede wszystkim przedstawił matematyczne rozumowanie na poparcie swoich intuicji. Wyprowadził on wzór na drugą prędkość kosmiczną. Zakładając że światło to zbiór korpuskuł (cząstek), Laplace wyliczył masę gwiazdy, dla której światło nie mogłoby opuścić jej powierzchni z powodu sil-

² Tłumaczenie własne z francuskiego tekstu: „Un astre lumineux de même densité que la terre, et dont le diamètre seroit deux cent cinquante fois plus grand que celui du soleil, ne laisseroit en vertu de son attraction, parvenir aucun de ses rayons jusqu'à nous ; il est donc possible que les plus grands corps lumineux de l'univers, soient par cela même, invisibles” (1796, s. 293). Przekład angielski: „A luminous star, of the same density as Earth, and whose diameter should be two hundred and fifty times larger than that of the Sun, would not, in consequence of its attraction, allow any of its rays to arrive at us; it is therefore possible that the largest luminous bodies in the universe, may, through this case, be invisible” (1809, s. 367).

nego pola grawitacyjnego. Taka gwiazda byłaby oczywiście niewidoczna z powierzchni Ziemi³.

Laplace w swoich obliczeniach przeprowadzonych pod koniec XVIII wieku przewidział istnienie obiektów odkrywanych w dzisiejszych czasach – czarnych dziur. Mimo to, jego intuicja co do ich własności okazała się być nie do końca prawdziwa. W rozważaniach dotyczących masywnych gwiazd mógł albo założyć ich dużą objętość, albo przyjąć, że są one mniejsze, ale bardzo gęste. Zdecydował się on na pierwszą możliwość: wybrał gwiazdę o promieniu dwieście pięćdziesiąt razy większym niż Słońce i gęstości co najmniej cztery razy większej od gęstości Ziemi. Współcześnie wiadomo natomiast, że istnieją czarne dziury o masach rzędu mas Słońca, które są bardzo gęste. To właśnie one stanowią większość czarnych dziur, o których istnieniu obecnie wiadomo. W tym aspekcie Laplace'a zawiodła jego fizyczna intuicja (por. Montgomery, Orchiston, Whittingham 2009, s. 95) – nie zmienia to jednak faktu, że jego przewidywania teoretyczne znacznie wyprzedziły epokę.

3. Tajemnicze zniknięcie niewidzialnych gwiazd

Porzucenie pomysłu czarnych dziur w kolejnych wydaniach *Exposition...* do czekało się kilku współczesnych komentarzy. Niektórzy autorzy ograniczyli się jedynie do zauważenia tego faktu. Pisze o tym na przykład biograf Laplace'a – Gillispie (1997, s. 175): „Laplace pominął te spekulacje [o niewidzialnych gwiazdach] w dalszych wydaniach i nigdy już więcej o nich nie wspomniał”⁴. We współczesnej literaturze można znaleźć próby wyjaśnienia tego zachowania Laplace'a. Wśród autorów podejmujących ten wątek jednoznacznie panuje przekonanie, że Laplace celowo zrezygnował ze swojego pomysłu po przeprowadzeniu doświadczenia przez Thomasa Younga w 1801 roku (rys. 1), dowodzącego falowej natury światła. Zwolennikiem tego poglądu jest Kip Thorne, który sugeruje⁵:

Odkrycie interferencji światła przez Thomasa Younga skłoniło filozofów przyrody do porzucenia korpuskularnego opisu światła na rzecz koncepcji falowej, zaproponowanej przez Christiana Huyghensa – nie było jednak jasne, w jaki sposób połą-

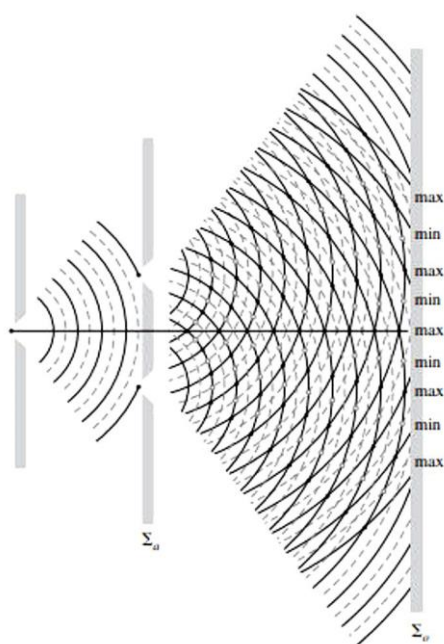
³ Dokładne rozumowanie Laplace'a można znaleźć m.in. w jego artykule (1799) oraz jego anglojęzycznych opracowaniach: Montgomery, Orchiston, Whittingham 2009, s. 93–94 oraz Ellis, Hawking 1973, s. 364–368.

⁴ Tłumaczenie własne; tekst oryginalny: „Laplace omitted the speculations in later editions, and seems never to have alluded to it again” (Gillispie 1997, s. 175).

⁵ Tłumaczenie własne; tekst oryginalny: „[...] Thomas Young's discovery of the interference of light with itself was forcing natural philosophers to abandon the corpuscular description of light in favor of a wave description devised by Christian Huygens – and it was not at all clear how this wave description should be meshed with Newton's laws of gravity so as to compute the effect of a star's gravity on the light it emits. For this reason, presumably, Laplace deleted the concept of a dark star from the third and subsequent editions of his book” (Thorne 1994, s. 123).

czyć teorię falową z newtonowskimi prawami grawitacji tak, aby udało się wyliczyć wpływ siły grawitacji pochodzącej od gwiazdy na światło, które emituje. Najprawdopodobniej z tego właśnie powodu Laplace zrezygnował z koncepcji czarnej gwiazdy w trzecim i kolejnych wydaniach swojej książki [*Exposition...*]. (Thorne 1994, s. 124)

Podobne poglądy można również znaleźć w tekście Gibbons'a (1994), który jako przyczynę niewielkiego rozgłosu prac Michell'a oraz Laplace'a podaje ich sprzeczność z falową koncepcją światła. Inne stanowisko prezentuje Bartusiak (2015, s. 14). Według niej Laplace mógł porzucić swoją koncepcję z dwóch powodów. Pierwszy z nich jest podobny do tych sugerowanych przez Gibbons'a oraz Thorne'a: naukowiec skonfrontował swoje rozumowania z badaniami Younga i zdecydował się zrezygnować z publikacji tekstu o niewidocznych gwiazdach w dalszych wydaniach *Exposition...*. Jednakże Bartusiak pozostawia jeszcze jedną możliwość wyjaśnienia: Laplace przestał się interesować tym zagadnieniem⁶. Właśnie to drugie wyjaśnienie wydaje się być najbardziej prawdopodobnym.



Rys. 1. Schemat eksperymentu Younga (Hecht 2012, s. 398) w wersji z 1803 roku. Światło najpierw przechodzi przez jedną szczelinę, przez co powstaje wiązka koherentna przestrzennie, będąca źródłem potrzebnym do właściwej części doświadczenia (współcześnie często pomija się ten element układu; wtedy do oświetlenia dwóch szczelin wykorzystywany jest laser). Światło pada następnie na dwie szczeliny, za którymi ustawiony jest ekran. Pojawiają się na nim jaśniejsze i ciemniejsze prążki. Takie zjawisko łatwo jest wyjaśnić przyjmując, że światło ma naturę falową. Wtedy okazuje się, że jasne prążki odpowiadają miejscom, gdzie fala świetlna została wzmocniona (max), a ciemne w punktach wygaszenia (min)

⁶ Pisze ona: „Laplace may have had second thoughts when light came to be viewed as waves, not corpuscles. Or -perhaps he simply experienced a loss of interest, for in subsequent editions of *Système du monde*, which he published up until his death in 1827, he expunged his invisiblestar speculation and never referred to it again” (Bartusiak 2015, s. 14).

4. Czy jest się o co spierać?

Patrząc z punktu widzenia współczesnej wiedzy fizycznej, doniosłość doświadczenia Younga nie budzi żadnych kontrowersji. Jest ono przywoływane we wszystkich podręcznikach do optyki, a jego wyniki są jednym z najbardziej popularnych dowodów przemawiających za falową naturą światła. Zapomina się jednak, że wielkie odkrycia często spotykają się na początku z dużą nieufnością środowiska naukowego i krytyką. Tak było również w przypadku Younga i jego doświadczenia. W 1801 roku przedstawił on swoje wyniki w artykule „On the Theory of Light and Colours”, zaprezentowanym członkom Royal Society (Young 1802).

Jak zauważa m.in. Cajori, artykuł Younga z 1801 roku został mocno skrytykowany i zupełnie nie zyskał uznania w ówczesnym środowisku naukowym. Wyjątkowo zagorzałym przeciwnikiem tego tekstu okazał się Lord Brougham, według którego artykuł nie zawierał „nic, co zasługuje na miano eksperymentu lub odkrycia” (Cajori 1962, s. 150)⁷. Fakt, iż wydana w formie pamfletu odpowiedź Younga na krytykę sprzedała się tylko w jednym egzemplarzu, dodatkowo świadczy o braku akceptacji i rozgłosu jego badań wśród współczesnych mu naukowców. Przyjmuje się, że dopiero eksperymenty Fresnela przyczyniły się do popularyzacji falowego podejścia Younga⁸, jednak to nastąpiło niespełna dwadzieścia lat później, zatem nie mogło mieć wpływu na decyzje Laplace’a o rezygnacji z pomysłu rozwinięcia rozważań o bardzo masywnych gwiazdach. Co więcej, mając do dyspozycji dwa rozwiązania problemu depolaryzacji: falowe – rozwinięte najpierw przez Younga, a potem uzupełnione przez Fresnela oraz Arago oraz korpuskularne – stworzone przez Biota, Laplace wybrał to drugie⁹. Jeżeli zatem nawet po powszechnym zaakceptowaniu falowej hipotezy światła Laplace wciąż nie był do niej przekonany, trudno przypisywać mu entuzjazm względem tej teorii przed rokiem 1808, w którym pojawiło się pierwsze wydanie *Exposition...* bez wzmianki o niewidocznych gwiazdach.

Pytając o motywacje Laplace’a do porzucenia swojego pomysłu, warto sięgnąć do oryginalnego tekstu i jeszcze raz dokładnie przejrzeć całą książkę. Uważnemu czytelnikowi w pierwszej chwili rzuci się w oczy znikomy stosunek objętościowy notki o niewidzialnych gwiazdach w stosunku do całego dzieła. Mając w świadomości cały dorobek Laplace’a, widać jasno, że analizowany tutaj pomysł był tylko jednym z tysięcy, które rozważał. Wiele z nich było przełomowych dla swojej epoki i spotkało się z zainteresowaniem środowiska naukowego. Trudno zatem dziwić się brakowi zainteresowania Laplace’a jego własnym pomysłem, który dziś wywołuje tyle emocji. Niepokój może budzić znik-

⁷ Tłumaczenie własne; tekst oryginalny: „nothing which deserves the name either of the experiment or discovery” (Cajori 1962, s. 150).

⁸ Por. (Tyndall 1875, s. 51); podobne głosy można znaleźć również w wypowiedziach Helmholtza.

⁹ Patrz: (Cajori 1875, s. 155), (Varvoglis 2014, s. 54).

nięcie tego fragmentu w kolejnych wydaniach *Exposition...* Okazuje się jednak, że zacytowane wcześniej zdanie zostało zapisane w ostatnim rozdziale całej książki, zatytułowanym „*Considérations sur le Système du monde, sur les progrès futurs de l’astronomie*” (Laplace 1796, s. 293), lub w wydaniu angielskim: „*Considérations of the system of the world, and on the future progress in astronomy*” (1809, s. 354) oraz (1830, s. 324). Nie powinien zatem dziwić fakt zmiany treści tego rozdziału przy kolejnych wydaniach w taki sposób, aby wciąż były one aktualne. Współcześni badacze zastanawiający się nad usunięciem wzmianki o niewidocznych gwiazdach nie zauważyli, że Laplace całkowicie zmienił cały ten rozdział, w którym podawał wiele różnych przewidywań. Na przykład w tekście z 1796 rozpoczyna on od opisu budowy Układu Słonecznego, zaś w wydaniach późniejszych (1830) buduje on systematyczne wprowadzenie do historii astronomii. Komentuje on wyniki najnowszych w tamtym czasie badań astronomicznych, które były szeroko dyskutowane w środowisku naukowym. Dodaje też dwa dodatkowe rozdziały do całej książki. Wydaje się zatem, że budząca dziś tyle emocji wzmianka o czarnych dziurach, została porzucona przypadkiem – wraz z wieloma innymi pomysłami Laplace’a, które w jego czasach wydawały się mało prawdopodobne i interesujące.

5. Podsumowanie

Nie ulega wątpliwości, że Laplace wyprzedził swoją epokę, przewidując istnienie czarnych dziur. Można się spierać o jego motywacje w rezygnacji z tego pomysłu w późniejszych wydaniach *Exposition...*, jednak najbardziej prawdopodobną hipotezą wydaje się być przypadkowe porzucenie tego pomysłu, który na przełomie XVIII i XIX wieku nie budził większych emocji. Być może niewyobrażalność istnienia tak osobliwych obiektów z perspektywy czasów Laplace’a sprawiła, że nie pochylił się on bardziej nad swoim pomysłem. Brak możliwości zaobserwowania ich na niebie również mógł skutecznie zniechęcić fizyka do poważnego zagłębienia się w ten temat. Jednakże tak długo, jak nie odnajdą się listy lub wspomnienia Laplace’a, w których wyjaśnia on motywacje rezygnacji pomysłu o niewidzialnych gwiazdach, można jedynie spekulować na ten temat. Dotychczas nie znaleziono takich materiałów.

Literatura

- [1] Bartusiak M., *Black hole. How an idea abandoned by Newtonians, hated by Einstein and gambled on by Hawking become loved*, Yale University Press, New Haven & London 2015.
- [2] Cajori F., *A History of Physics*, Dover Publications, New York 1962.
- [3] Ellis G.F.R., Hawking S.W., *The large scale structure of space-time*, Cambridge University Press, 1973.
- [4] Gibbons G., *The man who invented black holes*, Griffith Observatory, t. 58, cz. 1, 1994, 2–14.

-
- [5] Gillispie C.C., *Pierre-Simon Laplace. A Life in Exact Science*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey 1997.
- [6] Grant R., *History of Physical Astronomy from the Earliest Ages to the Middle of the Nineteenth Century*, Henry G. Bohn, York Street, Covent Garden, London 1852.
- [7] Hecht E., *Optyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- [8] Laplace P.S., *Exposition du Système du Monde*, t. 2, Paris 1796.
- [9] Laplace P.S., „Beweis des Satzes, dass die anziehende Kraft bey einem Weltkörper so gross seyn könne, dass das Licht davon nicht ausströmen kann”, *Allgemeine Geographische Ephemeriden*, t. 4, 1799, 1–6.
- [10] Laplace P.S., *Exposition du Système du Monde*, Paris 1808.
- [11] Laplace P.S., *The System of the World*, Bridge Street, Blackfriars, Londyn 1809.
- [12] Laplace P.S., *The System of the World*, The University Press, Dublin 1830.
- [13] Michell J., 1784. „On the means of discovering the distance, magnitude, of the fixed stars, in consequence of the diminution of the velocity of their light, in case such a diminution should be found to take place in any of them, and such other data should be procured from observations, as would be farther necessary for that purpose”, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 74, 35–57.
- [14] Montgomery C., Orchiston W., Whittingham I., „Michell, Laplace and the Origin of the Black Hole Concept”, *Journal of Astronomical History and Heritage* 12, nr 2, 2009, 90–96.
- [15] Thorne K.S., *Black Holes and Time Wraps. Einstein's Outrageous Legacy*, W.W. Norton & Company, 1994.
- [16] Tyndall J., *Six lectures on light*, Longmans, Green and Co., London 1875.
- [17] Varvoglis H., *History and Evolution of Concepts in Physics*, Springer, Thessaloniki 2014.
- [18] Young T., „The Bakerian Lecture: On the Theory of Light and Colours”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1802, 12–48.