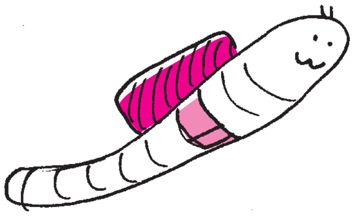
(Trudne) początki myśli empirycznej w trzynastowiecznej Europie

*Mikołaj JĘDRUSIAK**



Nie sposób chyba wyobrazić sobie procesu rozwoju współczesnych ścisłych nauk przyrodniczych, który pozbawiony byłby etapu eksperymentalnego poznawania otaczającego świata. Obecnie uznaje się doświadczenie za równoprawny z czysto dedukcyjnym, rozumowym, etap w procesie tworzenia teorii naukowej. Eksperyment pełni także kluczową rolę przy rozstrzyganiu i weryfikacji poprawności postawionych hipotez i teorii.

W dziejach nauki europejskiej nie był to jednak pogląd dominujący od zawsze. O metodzie naukowej, w jej zbliżonym do współczesnego kształcie, można mówić począwszy od XVI–XVII wieku. Okres wcześniejszy, od pierwszej połowy XII do początku XV wieku, zdominowany był przez scholastyczną metodę uprawiania nauk. Podejście to charakteryzowało się rozstrzyganiem problemów za pomocą czysto spekulatywnej dyskusji, opartej na analizie tez wcześniejszych uczonych, uznanych za autorytety w danej dziedzinie. Autorytetami tymi byli na ogół, z pewnymi wyjątkami, chrześcijańscy uczeni i teologowie, starający się zaadaptować poglądy filozofów starożytnych i arabskich, zwłaszcza Platona i Arystotelesa (oraz szeregu jego komentatorów), do potrzeb ówczesnej myśli chrześcijańskiej. Nie do końca prawdziwa jest, ukuta w epoce Oświecenia, popularna opinia, że scholastyka była szkołą filozoficzną propagującą ciemnotę i zabobon. Prawdą jest natomiast istnienie w scholastyce dysproporcji między preferowanym podejściem spekulatywnym, a tym opartym na eksperymencie. Dysproporcja ta była szczególnie widoczna w przypadku ówczesnych nauk „przyrodniczych”, takich jak perspektywa, optyka, astronomia czy mechanika.

O samym Baconie wiadomo niewiele. Większość dat związanych z jego życiem jest niepewna.

Jednym z pierwszych Europejczyków wychowanych w kulturze Zachodu, który wyraził stanowczy sprzeciw wobec pomijania argumentów natury doświadczalnej podczas dyskusji problemów z dziedziny przyrodoznawstwa był Roger Bacon. Ten wspaniały nauczyciel (łac. *doctor mirabilis*) urodził się w 1219 roku, ukończył studia na uniwersytecie w Oxfordzie, gdzie później pracował naukowo (z przerwami na pobyty w Paryżu). Na uczelni zajmował się sztukami wyzwolonymi oraz wykładaniem dzieł Arystotelesa. Wstąpił do zakonu Franciszkanów, co miało umożliwić mu podjęcie niczym nieskrępowanych studiów filozoficznych. Pozostając pod silnym wpływem arabskich komentatorów Filozofa, zaczął formułować swoje innowacyjne i skrajne tezy na temat zastosowania badań eksperymentalnych i matematyki we wszystkich prawie rodzajach nauk. Przekonania Bacona zostały uznane za zbyt radykalne i w konsekwencji potępione. Sam Bacon, związany ślubem posłuszeństwa wobec zwierzchników zakonnych, spędził ostatnie dwadzieścia lat życia w areszcie domowym. Zwolniono go w 1290 roku, jednak bez rehabilitacji. Zmarł w 1292 roku.

Opus Maius czytałem w przekładzie Tadeusza Włodarczyka.

Poglądy brata Rogera, zbliżone do współczesnego empiryzmu, zostały szczegółowo wyłożone w jego dziełach. Jego pierwsza i najobszerniejsza praca, znana jako *Dzieło Większe* (łac. *Opus Maius*, 1267 r.), została później uzupełniona kilkoma pomniejszymi dziełami, niewnoszącymi już jednak większych zmian do myśli pierwotnie przedstawionej przez Bacona. Do podjęcia pracy nad dziełami z dziedziny filozofii nauki, które w zamierzeniu miały przyczynić się do reformy średniowiecznej metody naukowej, zachęcił Bacona jego przyjaciel Guy de Foulques, późniejszy Klemens IV (1265–1268 r.). Papież przychylny Baconowi w natłoku obowiązków pontyfikalnych nie znalazł jednak czasu na podjęcie szerszej dyskusji o potrzebie reformy scholastycznej szkoły uprawiania filozofii. Jego następca na Tronie Piotrowym, Grzegorz X, był przeciwnikiem programu Bacona.

Dzieło Większe zostało pomyślane jako rodzaj manifestu naukowego, zwracającego szczególną uwagę na potrzebę uprawiania nauk z zastosowaniem możliwie ścisłego rygoru rozumowania. Autor uważał, że skoro problemy

*doktorant, Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski

z dziedziny optyki, astronomii oraz, do pewnego stopnia, mechaniki i hydrostatyki można z powodzeniem rozwiązywać za pomocą czysto logicznej, zmatematyzowanej obróbki zebranych uprzednio danych eksperymentalnych, to, być może, jest to uniwersalna metoda prowadzenia wszelkich badań naukowych. Bacon sądził, że reforma systemu nauczania i uprawiania nauki konieczna jest do tego, aby łacinnicy zdołali doścignąć poziom myśli arabskiej. Swoje poglądy starał się przedstawić w możliwie stonowanej formie, z podkreśleniem poszanowania dla tradycji i zwróceniem uwagi na szereg korzyści dla Kościoła i świata świeckiego, które mogły wyniknąć z wprowadzenia proponowanych reform. Zachowawczy język nie był jednak w stanie zamaskować rewolucyjnego charakteru jego postulatów.

Rozdział pierwszy *Dzieła* rozwija te myśli, zaczynając od podstaw. Podane zostają przykłady błędów rozumowania, których można uniknąć przez zachowanie pełnej konsekwencji, logiki i krytycyzmu poznawczego w trakcie prowadzenia wywodu. Zdaniem Bacona istnieje kilka głównych przyczyn błądzenia, jak na przykład: poleganie na niesprawdzonych źródłach wiedzy (autorytetach), nawyki i osobiste przekonania badacza czy ukrywanie własnej ignorancji pod pozorem wiedzy i skomplikowania teorii. Już pierwsze akapity *Dzieła*, skierowane jawnie przeciwko metodzie scholastycznej, przysporzyły Baconowi licznych wrogów w gronie ówczesnych uczonych. Nawet ostrożnie prowadzona krytyka wobec nadmiernego zaufania pokładanego w autorytetach nie mogła spodobać się dostojnikom Kościoła. Autor wymienia szereg autorytetów godnych, jego zdaniem, zaufania. Obok św. Augustyna czy św. Izydora z Sewilli figurowali także Arystoteles i liczni uczeni arabscy, jak Awicenna, Al-Farabi, Alhazen czy Albumazar. Powoływanie się na uczonych arabskich wymagało pewnej odwagi, gdyż głoszone przez nich teorie w zależności od okresu naprzemiennie znajdowały się na cenzurowanym bądź wracały do łask. Bacon pozbawiony opieki możnego protektora, który zmarł niebawem po ogłoszeniu tych krytycznych wobec systemu prowadzenia średniowiecznej nauki tez, szybko popadł w niełaskę przełożonych.

Rozdział drugi traktuje o bliskim związku logiki z filozofią oraz filozofii z teologią. Nauki te były uważane w średniowieczu za ścisłe, stąd też postulat Bacona zwiększenia roli czystej logiki w dociekaniach natury teologicznej. Autor podaje, między innymi, przykłady zastosowania sylogizmów logicznych do udowadniania niektórych przymiotów Boga.

Rozdział trzeci podnosi, niezmiennie istotne, zagadnienie znajomości języków obcych i korzyści z tego płynących. Średniowieczni uczeni, pragnący zapoznać się z dziełami antycznych filozofów, musieli polegać na łacińskich przekładach tekstów arabskich z oryginalnej greki. Bacon zauważał, że znajomość języka greckiego (sam znał francuski, angielski, łacinę, grekę i częściowo hebrajski) pozwoli uniknąć powstawania błędów przekładu, co było szczególnie istotne w odniesieniu np. do tłumaczeń Pisma Świętego. Za istotną uważał także znajomość nie tyle samego języka, słownictwa, co gramatyki. Jej znajomość jest niezbędna, aby w tekście naukowym, na poziomie czysto językowym, nie pomylić np. skutku z przyczyną. Autor zwraca uwagę na korzyści płynące ze znajomości języków obcych także w sferach niezwiązanych z nauką czy teologią. Podaje współczesny mu przykład nieudanej misji dyplomatycznej, która miała doprowadzić do zawiązania sojuszu między Frankami (ogólnie Krzyżowcami) a Mongołami, wymierzonego przeciwko Arabom. Zabiegi nie powiodły się w pewnej mierze z powodu bariery językowej. Łacinnicy nie byli bowiem w stanie porozumieć się z wysłannikami chana w żadnym znanym sobie języku.

Rozdział czwarty *Dzieła* omawia zagadnienia związane z matematyką „czystą” i jej zastosowaniami w naukach. Bacon uznaje matematykę, a więc logikę, geometrię i arytmetykę, za najszlachetniejszą z nauk. Ten najobszerniejszy rozdział *Dzieła* (250 stron w wydaniu polskim, cała rozprawa liczy ich 700) podaje wiele przykładów zastosowania matematyki w dociekaniach filozoficznych i przyrodniczych. Autor podaje kilka dowodów kulistości Ziemi

Rozwiązanie zadania M 1522.
Korzystając z danej równości oraz z przemienności $\odot$, uzyskujemy

$$\underbrace{1 \oplus 1 \oplus \ldots \oplus 1}_{n} = 1 \odot n = n \odot 1 = n$$

dla każdej dodatniej liczby całkowitej n. W połączeniu z łącznością $\oplus$ mamy więc

$$a \oplus b = \underbrace{1 \oplus \ldots \oplus 1}_{a} \oplus \underbrace{1 \oplus \ldots \oplus 1}_{b} =$$
$$= \underbrace{1 \oplus \ldots \oplus 1}_{a+b} = a + b$$

dla dowolnych a, b, a zatem $\oplus$ jest „zwykłym” dodawaniem. Z danej w treści zadania zależności wynika więc również, że $\odot$ jest „zwykłym” mnożeniem.

Jeżeli zastąpimy założenie o łączności operacji $\oplus$ założeniem o jej przemienności, odpowiedź ulegnie zmianie. Można rozważyć, na przykład, operacje

$$a \oplus b = \max(a, b) + 1, \qquad a \odot b = a + b - 1,$$

które nie są „zwykłe”, a spełniają wymagane warunki.

Rozwiązanie zadania M 1523.
Dla wielokąta $\mathcal{P}$ oznaczmy przez $S(\mathcal{P})$ lekko zmodyfikowaną sumę miar kątów wewnętrznych wielokąta $\mathcal{P}$, mianowicie taką, w której zamiast kątów wklęsłych występują kąty dopełniające je do pełnych ze znakiem „$-$”. Jeżeli więc $\mathcal{P}$ jest n-kątem o dokładnie k wklęsłych kątach wewnętrznych, to definiujemy

$$S(\mathcal{P}) = (n-2) \cdot 180^\circ - k \cdot 360^\circ.$$

Przypuśćmy, że wielokąt wypukły $\mathcal{P}$ jest podzielony odcinkami na wielokąty $\mathcal{P}_1$, $\mathcal{P}_2$, ..., $\mathcal{P}_k$ o rozłącznych wnętrzach. *Wierzchołkami podziału* nazwijmy te wierzchołki wielokątów $\mathcal{P}_i$, które nie są wierzchołkami wielokąta $\mathcal{P}$. Wówczas

$$\sum_{i=1}^{k} S(\mathcal{P}_i) = S(\mathcal{P}) + a \cdot 360^\circ + b \cdot 180^\circ,$$

gdzie a jest liczbą wierzchołków podziału wokół których znajdują się tylko kąty wypukłe wielokątów $\mathcal{P}_i$, b zaś jest liczbą wierzchołków podziału leżących na bokach wielokąta $\mathcal{P}$ (w przypadku wierzchołków podziału, będących wierzchołkami pewnych kątów wklęsłych wielokątów $\mathcal{P}_i$, „wychodzimy na zero”, zgodnie z definicją S).

W szczególności z powyższej równości wynika, że

$$S(\mathcal{P}) \leqslant \sum_{i=1}^{k} S(\mathcal{P}_i).$$

Pozostaje zauważyć, że gdyby wszystkie wielokąty $\mathcal{P}_i$ były czworokątami wklęsłymi, to $S(\mathcal{P}_i) = 0$ dla każdego i, wobec czego

$$0 < (n-2) \cdot 180^\circ = S(\mathcal{P}) \leqslant$$
$$\leqslant \sum_{i=1}^{k} S(\mathcal{P}_i) = 0,$$

co nie może mieć miejsca.

(wbrew popularnemu poglądowi średniowieczni uczeni nie uważali jej za płaską). Dowody te mają naturę geometryczną, wychodzą jednak z przesłanek empirycznych. Na przykład, kluczowe w jednym z rozumowań jest spostrzeżenie, że woda zawsze ścieka w dół. Inne rozumowanie opiera się natomiast na obserwacji, że oddalające się na morzu statki znikają za horyzontem.

W sporze o istnienie atomów rozumianych jako niepodzielne fragmenty materii Bacon zajmuje stanowisko zapożyczone od Arystotelesa. Rozpatruje on kwadrat złożony z małych kulek. Zauważa, że w takim przypadku bok kwadratu ma tyle samo atomów, co jego przekątna. Sprzeczności, a więc i nieistnienia atomów upatruje w znanym twierdzeniu, mówiącym o niewspółmierności długości przekątnej kwadratu do długości jego boku.

W jednym z przykładów Bacon rozpatruje kwestię, czy przeciwległe ściany katedry mogą być idealnie równoległe. Najpierw zauważa, że ściana, która nie jest prostopadła do płaszczyzny podłoża, musi przewrócić się pod własnym ciężarem. Następnie z faktu kulistości Ziemi wysnuwa wniosek, że ściany nie mogą być równoległe. Zauważa, że odchylenie od równoległości będzie tym większe, im większa będzie odległość między ścianami katedry.

Jeszcze bardziej pomysłowe rozumowanie, oparte na założeniu kulistości Ziemi, dotyczy pytania o pojemność naczynia umieszczonego na różnych wysokościach. Autor rozpatruje talerz wypełniony po brzegi wodą. Najpierw naczynie to jest postawione w piwnicy, potem na szczycie wieży. Pytanie, w którym przypadku do talerza zmieści się więcej wody, Bacon rozstrzyga następująco. Woda jest przyciągana przez Ziemię – o ile zajdzie taka możliwość, zawsze będzie więc ściekać na dół. Z tego powodu odległość powierzchni lustra cieczy od środka Ziemi będzie w każdym punkcie lustra taka sama. Kształt menisku będzie więc wyznaczony przez krzywiznę Ziemi i średnicę talerza. Z faktu że, jak byśmy to dzisiaj powiedzieli, pole odcinka kołowego, wyznaczonego przez odcinek o danej długości, jest tym większe, im mniejszy jest promień koła, brat Roger wnioskuje, że w talerzu postawionym w piwnicy zmieści się więcej wody. Mimo że poglądy Bacona na temat natury menisku są w ogólności błędne, to nie można odmówić temu rozumowaniu pewnego uroku.

W dalszej części rozdziału czwartego omówione są zastosowania matematyki w teologii (chodzi głównie o reformę kalendarza i wyznaczanie chronologii wydarzeń biblijnych), astronomii, astrologii i geografii (zagadnienie kreślenia map). Zawarty jest też opis geografii znanego świata oraz pobieżnej historii omawianych ziem.

Rozdział piąty jest w zasadzie kompletnym studium klasycznej optyki. Przedstawione są informacje dotyczące działania zwierciadeł i soczewek, opisane są zjawiska załamania i odbicia światła. Zaprezentowane są także rozważania na temat natury światła. Zawarty jest szczegółowy opis budowy oka oraz połączeń nerwowych oka z mózgiem. Jasno wypowiedziany jest pogląd, że proces widzenia zachodzi nie w oku, lecz w mózgu. Autor informacje z dziedziny optyki czerpie głównie od uczonych arabskich, takich jak Al-Kindi czy wspomniany Alhazen.

Rozdział szósty zawiera zestawienie znanych w epoce faktów z dziedziny nauk eksperymentalnych, takich jak alchemia, astronomia czy mechanika. Bacon wielokrotnie podkreśla tu swoją tezę na temat istotnego udziału badań eksperymentalnych w procesie poznawania otaczającego świata. Uznaje on, że eksperyment jest narzędziem rozstrzygającym o poprawności postawionej teorii.

Zawarte zostały tu opisy eksperymentów z magnesem, spalającym zwierciadłem oraz pierwsza w Europie relacja dotycząca przywiezionych prawdopodobnie z Chin fajerwerków. Rozdział ten jest szczególnie znany ze względu na zdawkowe, lecz w XIII wieku rewolucyjne, „przepowiednie” Bacona – uznał on bowiem, że w przyszłości możliwe będzie skonstruowanie przemyślnego układu soczewek, pozwalającego dowolnie przybliżać obserwowane obiekty (mikroskop i teleskop). Rozważał także możliwość skonstruowania soczewki dostosowanej do potrzeb konkretnej osoby (okulary – nieznane wtedy w Europie). W dziedzinie

Rozwiązanie zadania M 1524.
Niech m będzie dodatnią liczbą całkowitą. Zauważmy, że każda mniejsza od 10^m wielokrotność liczby

$$N(m) = 9 \cdot \mathrm{NWW}(1, 2, 3, \ldots, m)$$

jest podzielna przez sumę swoich cyfr. Rzeczywiście, suma cyfr każdej takiej liczby jest nie większa od $9m$ i podzielna przez 9, więc jest dzielnikiem liczby $N(m)$, a tym bardziej dowolnej jej wielokrotności.

Wystarczy więc udowodnić, że dla każdego $n \geqslant 1$ można dobrać takie m, aby spełniona była nierówność

$$n < 10^m / N(m),$$

a szukany ciąg arytmetyczny będą wówczas tworzyły liczby $kN(m)$ dla $k = 1, 2, \ldots, n$.

Zauważmy, że każda liczba pierwsza $p \leqslant m$ wchodzi do rozkładu liczby $\mathrm{NWW}(1, 2, 3, \ldots, m)$ na czynniki pierwsze z wykładnikiem $\lfloor \log_p m \rfloor$, a zatem nie większym od $\log_p m$. Wobec tego

$$N(m)/9 \leqslant \prod_{p \leqslant m} p^{\log_p m} = m^{\pi(m)} <$$
$$< m^{2m/\ln m} = e^{2m},$$

gdzie mnożenie przebiega liczby pierwsze p oraz skorzystaliśmy z nierówności zasugerowanej we wskazówce do zadania (prawdziwej dla $m \geqslant M_1$, gdzie M_1 jest pewną dodatnią liczbą całkowitą).

Ponieważ $10/e^2 > 1$, więc $(10/e^2)^{M_2} > 9n$ dla pewnej dodatniej liczby całkowitej M_2. Do zakończenia rozwiązania wystarczy przyjąć $m = \max\{M_1, M_2\}$.

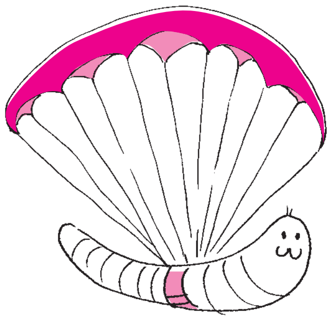
Uwaga. Uważny Czytelnik zauważy, że zaprezentowane rozumowanie (z adekwatnym szacowaniem płynącym z *twierdzenia o liczbach pierwszych*) można przenieść na przypadek sum cyfr rozważanych w zapisie pozycyjnym o dowolnej podstawie $d \geqslant 3$. Nie rozstrzyga ono jednak, czy istnieją dowolne długie ciągi arytmetyczne liczb naturalnych, które są podzielne przez sumę swoich cyfr w zapisie dwójkowym.

Rozwiązanie zadania F 923.
Maksymalna prędkość z jaką odłamki skalne mogą poruszać się po orbitach okołosłonecznych nie przekracza prędkości ucieczki od przyciągania Słońca. Prędkość ucieczki w odległości równej odległości Ziemia-Słońce jest równa $\sqrt{2} \cdot v_Z$, gdzie v_Z to prędkość, z jaką Ziemia obiega Słońce ($v_Z^2 = GM_S/R_{ZS}$). Maksymalna prędkość meteoroid-Ziemia wynosi więc $V = (\sqrt{2} + 1)v_Z$. Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymujemy $V = 72$ km/s.

Rozwiązanie zadania F 924.
Strumień mocy promieniowania cieplnego pochodzącego od Słońca w odległości D od jego środka wynosi: $W = R_S^2 \sigma T_S^4 / D^2$. Dla uproszczenia dalszych obliczeń przyjmijmy, że możemy pominąć kątowe rozmiary Słońca. Wówczas ciało o promieniu r absorbuje moc $P = \pi r^2 W$ i, po osiągnięciu temperatury równowagi T, tę samą moc emituje. Mamy więc $P = 4\pi r^2 \sigma T^4$. Meteoroid pozostaje w stanie stałym, gdy $T < T_{\mathrm{m}}$. Oznacza to, że odległość od Słońca stałych meteoroidów żelaznych musi spełniać warunek:

$$D > \frac{R_S}{2} \frac{T_S^2}{T_{\mathrm{m}}^2}.$$

Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymujemy $D > 5{,}82 R_S = 4{,}07 \cdot 10^9$ m. Nasze oszacowanie jest zaniżone, gdyż w tak małej odległości od Słońca poprawka wynikająca z faktu, że jest ono źródłem rozciągłym jest już dość znaczna – rozmiary kątowe Słońca „widziane" przez meteoroid wynoszą bowiem wówczas około 20°.



optyki dysponował on konkretnymi podstawami teoretycznymi, pozwalającymi uwiarygodnić przedstawione prognozy. Przewidywał skonstruowanie funkcjonalnej maszyny parowej oraz maszyny latającej. Należy zaznaczyć, że jego rozważania na ten temat miały charakter czysto hipotetyczny, życzeniowy. Prawdopodobnie zetknął się on z pracami opisującymi „maszyny parowe" Herona z Aleksandrii i ich proste zastosowania, jednak nie był inżynierem i nie był w stanie podać bardziej konkretnych rozwiązań, tak jak, na przykład, uczynił to później Leonardo da Vinci.

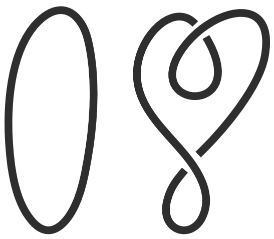
Niekompletny rozdział siódmy, ostatni, zawiera zestawienie refleksji autora na temat etyki, moralności i prawa.

Postać Bacona, zarówno w epoce, jak i współcześnie, powodowała szereg kontrowersji. Jego szeroka znajomość dzieł arabskich i greckich uczonych, w połączeniu z prowadzeniem badań eksperymentalnych i nieortodoksyjnymi przekonaniami, przysporzyła mu opinii czarownika. Współcześnie istnieje teoria spiskowa, przypisująca Baconowi autorstwo tajemniczego manuskryptu Voynicha.

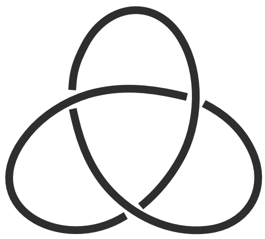
Mimo że obecnie podaje się w wątpliwość, czy Bacon osobiście przeprowadzał opisywane przez siebie eksperymenty, to pytanie, czy brat Roger był istotnie pierwszym empirykiem w Europie, czy raczej wszechstronnie wykształconym erudytą, jest z punktu widzenia historii nauki drugorzędne. Niewątpliwie był on pierwszym uczonym średniowiecznej Europy, który tak stanowczo wyraził swoje przekonania na temat potrzeby oparcia nauk w jak największym stopniu na logicznym rozumowaniu, wspartym, jeśli to tylko możliwe, na badaniach doświadczalnych. Jego życiorys pokazuje, jak trudne do przyjęcia w XIII wieku były takie poglądy. Ostatecznie metoda prowadzenia badań naukowych w kształcie zbliżonym do zapostulowanego przez Bacona, a więc i w kształcie zbliżonym do współczesnego, została przyjęta kilkaset lat później, na przełomie XVI i XVII wieku.

Zadanie dla wytrwałych i dociekliwych

Pętle na rysunku 1 przedstawiają ten sam sznurek. Rysunek 2 już tym samym nie jest – jakkolwiek długo i wytrwale nie bawilibyśmy się zwykłą pętlą, bez jej uszczerbku na zdrowiu (rozerwanie i sklejenie), pętli z rysunku 1 nie otrzymamy. Splot z rysunku 3 ma tę cechę, że trzy ogniwa są splecione, ale dowolne dwa już nie. Inaczej: jeżeli rozetniemy którekolwiek z ogniw, to pozostałe będą niesplecione. Splot z rysunku 4 ma dokładnie tę samą cechę. Przedstawiony sposób zaplatania moglibyśmy powtórzyć dla dowolnej liczby pętli, np. 10 – w dalszym ciągu po rozcięciu jednego, dowolnego ogniwa pozostałe będą niesplecione. Moglibyśmy ten sposób powtórzyć również dla 3 pętli – czy otrzymamy wtedy ten sam co na rysunku 3?

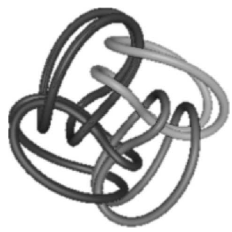


Rys. 1



Rys. 2

Rys. 3. Splot Boromeuszy



Rys. 4. ang. *Brunnian link*

Drogi Czytelniku, jeżeli potrafisz nas (Redakcję) przekonać, że trzy ogniwa splecione metodą z rysunku 4 są tym samym co splot Boromeuszy, albo, że tym samym nie są, z radością opublikujemy Twoją przekonującą odpowiedź w *Delcie*. Jak dotąd żadnemu śmiałkowi się to nie udało...