



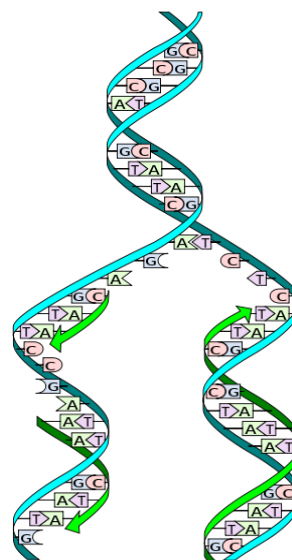
## Jak rozwinąć podwójną helisę DNA? Jak działają szczypce optyczne?

Ines Moskal

Studentka Instytutu Fizyki UJ

### Podwójna helisa DNA

DNA (kwas dezoksyrybonukleinowy) jest to cząsteczka, która u ludzi i zwierząt pełni wiele ważnych funkcji, takich jak magazynowanie informacji na temat budowy, działania oraz cech osobniczych organizmu. Składa się ona z dwóch nici zbudowanych z cukru deoksyrybozy oraz zasad azotowych (adeniny, tyminy, guaniny oraz cytozyny), a także z reszt kwasu fosforowego. Zasady azotowe łączą się tylko w ściśle określone pary: adenina-tymina i cytozyna-guanina. Obie nici splatają się wokół wspólnej osi tworząc kształt zwany podwójną helisą. Dzięki takiej budowie, DNA można zwinąć do takiej objętości, by w każdej komórce mieścił się około dwumetrowy łańcuch naszego kodu genetycznego. Istnieją jednak sytuacje, kiedy podwójna helisa zostaje „rozkręcona”. Dzieje się to zazwyczaj, gdy materiał genetyczny jest powielany, co nazywamy replikacją DNA. Wtedy kompleks składający się z różnych białek (**replisom**) zaczyna kopiować nić, jednocześnie rozwijając ją w tak zwane widelki replikacyjne (rys. 1). Wszystkie procesy zachodzące przy obecności DNA są wielce istotne w rozwoju i funkcjonowaniu naszego organizmu.



Rys. 1. Duża helisa DNA rozwijająca się do replikacji [1]

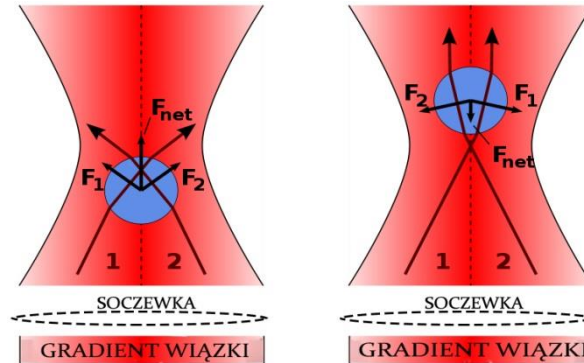
Czy zastanawialiście się, czy człowiekowi może się udać to, co replisomom udaje się z taką łatwością? Albo co się stanie, jeżeli rozwiniemy DNA wokół osi obrotu nici?

### Jak działają szczypce optyczne?

Żeby znaleźć odpowiedź na powyższe pytania, trzeba zapoznać się z techniką optycznych szczypiec (z ang. *Optical Tweezer*), która pozwala nam badać mechaniczne właściwości komórek, cząsteczek oraz wielu innych małych organicznych i nieorganicznych przedmiotów. Najważniejszym elementem szczypiec optycznych jest skupiona wiązka lasera, która pozwala „złapać” i przemieszczać interesujący nas mikroskopowy obiekt.

### Jak to działa?

W przypadku, gdy średnica łapanej cząsteczki jest dużo większa od długości fali światła emitowanego przez laser, światło trafiające na cząsteczkę zostaje załamane. Jest to równoznaczne z tym, że zmienia ono swój bieg i wektor pędu. Znajac III prawo Newtona wiemy, że cząstka również zmieni swój wektor pędu. Schemat działania sił dla obiektów większych niż długość fali światła laserowego został przedstawiony na rys. 2. W naszej pułapce optycznej znajduje się też wypukła soczewka, która skupia światło w płaszczyźnie poziomej. Obiekt więziony jest w miejscu przewężenia (ogniska) wiązki światła. Jeśli złapana cząsteczka wysunie się z ogniska w dół, tak jak pokazano z lewej strony rys. 2, to wtedy działa na nią siła skierowana do góry i wciąga ją z powrotem do ogniska. Analogicznie, jeśli cząsteczka wysunie się do góry, to będzie ściągana w dół. Żeby to wyjaśnić, rozpatrzmy szczegółowo przypadek, gdy cząsteczka jest poniżej ogniska. Wtedy światło padające na nią z lewej strony będzie działać na nią siłą skierowaną w lewą stronę i do góry (na rysunku siłę tę oznaczono przez  $F_1$ ). Droga promieni z lewej strony oznaczona jest cyfrą 1. Zakrzywiony promień 1 wylatując z cząsteczki skłęci w prawo w stosunku do swojego pierwotnego kierunku, a zatem odepchnie cząsteczkę w lewą stronę. Skłęci promienia 1 w prawo spowoduje, że składowa jego pędu skierowana do góry będzie mniejsza niż była zanim wszedł do cząsteczki. Zatem z zasady zachowania pędu wynika, że skoro składowa pędu promienia w kierunku pionowym zmniejszy się, to składowa pędu cząsteczki w kierunku pionowym musi się zwiększyć, czyli światło padające na cząsteczkę poniżej ogniska z lewej strony popycha ją w lewo i do góry. Podobnie można wykazać, że światło padające na cząsteczkę poniżej ogniska z prawej strony będzie popychać ją siłą  $F_2$  w prawą stronę. Jeśli cząsteczka jest na środku wiązki, to wtedy siły działające w lewą i w prawą stronę będą się równoważyć, więc zostanie popchnięta tylko do góry i wciśnięta z powrotem do ogniska. Narzuca się jeszcze pytanie: Dlaczego cząsteczka nie wysmyknie się ze szczytów na bok? Żeby temu zapobiec wiązka lasera ma światło gradientowe (to oznacza, że natężenie wiązki maleje idąc od osi wiązki na zewnątrz). Zatem natężenie jest największe w środku wiązki, a najmniejsze na brzegu. Na rys. 2 jest to uwidocznione poprzez ciemny czerwony kolor w pobliżu osi, który blaknie w kierunku brzegu wiązki. Zmniejszanie się natężenia wiązki od centrum do brzegu powoduje, że jeżeli obiekt oddali się od środka pułapki optycznej na przykład na lewo, wtedy z prawej strony będzie padało na niego więcej światła niż z lewej. Jak wiemy światło padające z prawej strony ciągnie cząsteczkę w prawo, a z lewej w lewo. Dlatego jeśli cząstka w ognisku wysunie się nieco w lewo, to wtedy siła ciągnąca w lewo będzie mniejsza niż siła ciągnąca w prawo, bo z lewej będzie mniej światła niż z prawej.

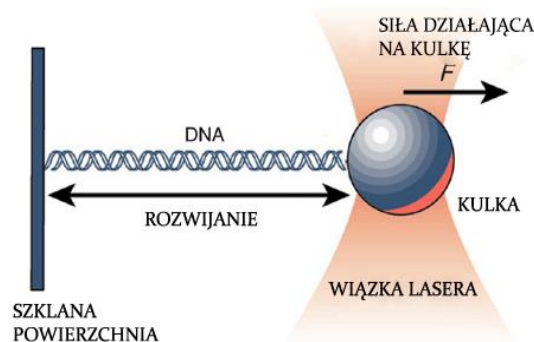


Rys. 2. Schemat działania optycznych szczypiec wraz z oznaczeniami sił działających na obiekt [2]

Jeśli zatem nabierzemy wprawy w obsłudze takich optycznych szczypiec, to możemy spróbować odpowiedzieć na pytanie:

### Co się stanie jak będziemy rozciągać łańcuch DNA?

Teraz dochodzimy do najważniejszego aspektu w tym opisie, jak udaje się nam rozwinąć DNA? I co się wtedy dzieje?



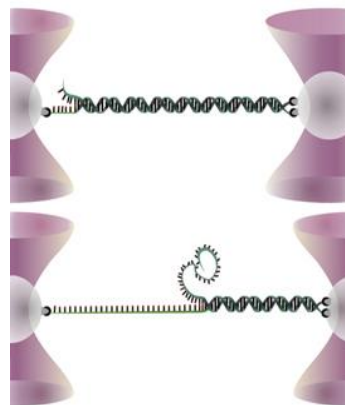
Rys. 3. Metoda rozwijania DNA [3]

Otóż mając możliwość skorzystania z optycznych szczypiec i wiedząc, że możemy w nich uwięzić obiekt i działać na niego siłą, znamy już wszystkie narzędzia potrzebne do rozwinięcia helisy naszego kodu genetycznego. Dla wyizolowanej nici DNA jeden jej koniec przytwierdzamy do szklanej powierzchni, natomiast do drugiego jej końca zostaje przymocowana. Możemy też przytwierdzić kulki z obu stron i każdą łapiemy za pomocą szczypiec optycznych (rys. 4). Istnieje wiele metod, za pomocą których można przytwierdzić podwójną helisę do kulki. Jedną z najczęściej stosowanych jest okrycie polistyrenowej kulki

streptawidyną, która jest białkiem wysoce spowinowaconym z biotyną. Wtedy na koniec molekuly DNA aplikuje się biotynę i powstaje wiązanie. W takim układzie kulka może być dowolnie manipulowana, a wyniki można będzie zobaczyć pod mikroskopem.

Jednak wyniki takiego rozciągania DNA każdego mogą zaskoczyć, gdyż zamiast stopniowo się rozwijać pod wpływem przyłożonej stałej siły, podwójna helisa stawia opór. Nasze DNA nie poddaje się sile ciągnącej kulkę aż do wartości 65 pikoniutonów (w skrócie pN), kiedy nagle zupełnie się rozwija, aż do 1,7-krotności swojej pierwotnej długości! Gdy spojrzymy pod mikroskop, dowiemy się, że nie da się rozkręcić nici bez zniszczenia jej i po użyciu siły większej niż 65 pN wiązania zasad azotowych rozsypują się i oba końce DNA rozpinają się jak suwak<sup>4</sup> (rys. 4).

Poznając mechaniczne właściwości naszego kodu genetycznego możemy dowiedzieć się, w jaki sposób reagują one z białkami. Takie reakcje mają miejsce w naszym organizmie nieustannie. DNA jest wciąż zwijane, rozciągane lub składane. Gdy zrozumiemy, jak fizycznie zmieniają się jego właściwości, może kiedyś w przyszłości będziemy mogli sami je zmieniać, co pomoże znaleźć lek na wiele chorób genetycznych.



Ilustracja 4. Rozwijanie DNA za pomocą pary optycznych szczypiec [5]

[1, 2] Źródło: wikipedia.pl

[3] Źródło: <http://jolisfukyu.tokai-sc.jaea.go.jp>

[4] <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2009/October/19100902.asp>

[5] [http://www.nbi.ku.dk/english/news/news11/new\\_insights\\_into\\_dna\\_under\\_the\\_influence\\_of\\_strong\\_forces/](http://www.nbi.ku.dk/english/news/news11/new_insights_into_dna_under_the_influence_of_strong_forces/)