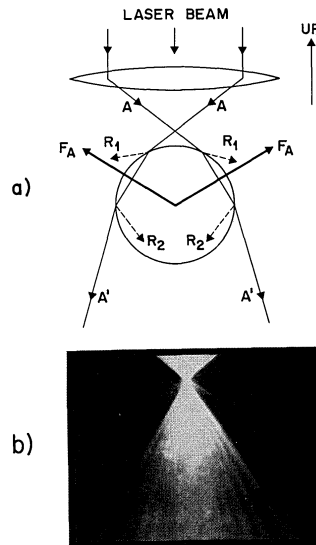


Nobel Prijs voor Natuurkunde 2018:

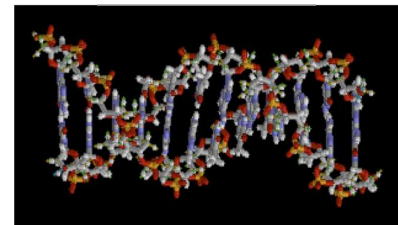
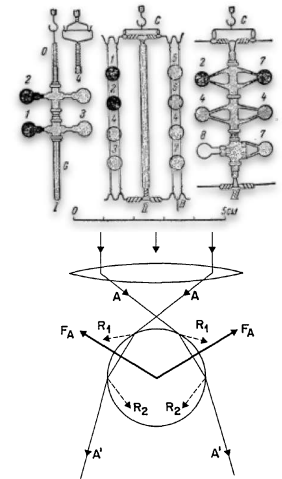
Arthur Ashkin (1/2)

"for the optical tweezers and their application to biological systems"

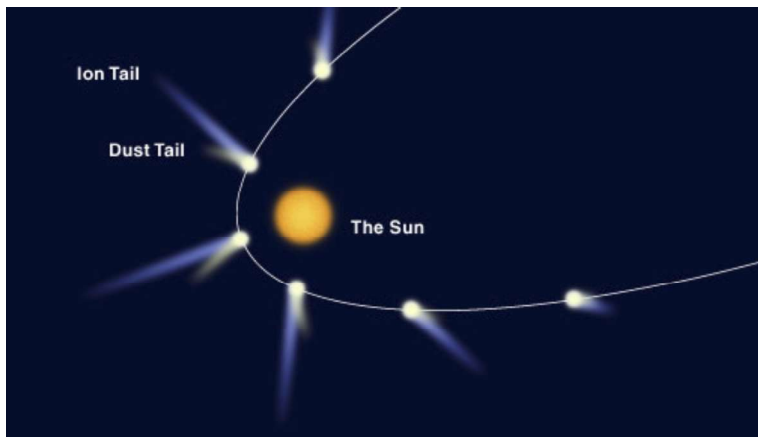


Het optisch pincet / *optical tweezers*

- Komeetstaarten
 - *Johannes Kepler (1619)*
- Stralingsdruk
 - *James Clerk Maxwell (1873)*
 - *Pyotr Nikolaievich Lebedev (1901)*
- Van stralingsdruk naar een optisch pincet
 - *Arthur Ashkin (1986)*
- Toepassingen van het optisch pincet
 - *Natuurkunde van Levende Systemen, VU*



Komeetstaarten...



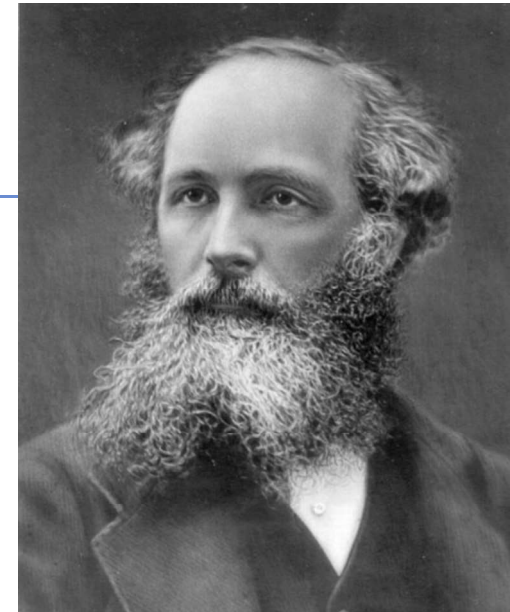
...wijzen altijd van de zon af!



Johannes Kepler (1619):
dit komt door de interactie van
(zon)licht met de materie van de
komeet

Stralingsdruk: *theoretisch bewijs*

- *James Clerk Maxwell*
- Maxwell vergelijkingen (1873)
- Klassiek basisvergelijkingen van electromagnetische (**EM**) straling
- Uit de vergelijkingen volgt dat EM-golven **impuls** hebben en kunnen overdragen op objecten waarmee ze wisselwerken

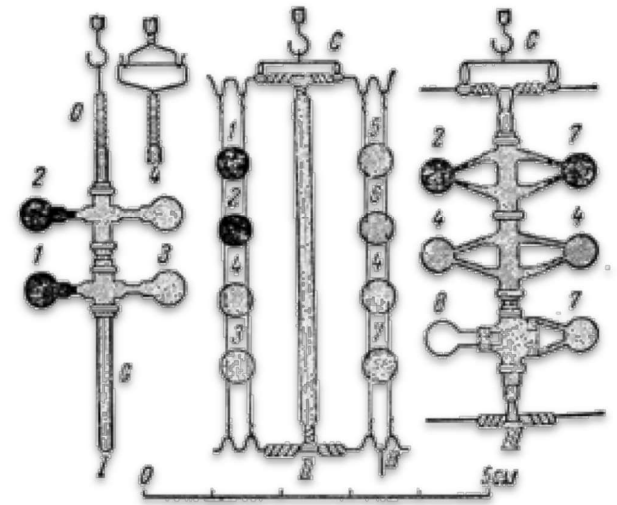
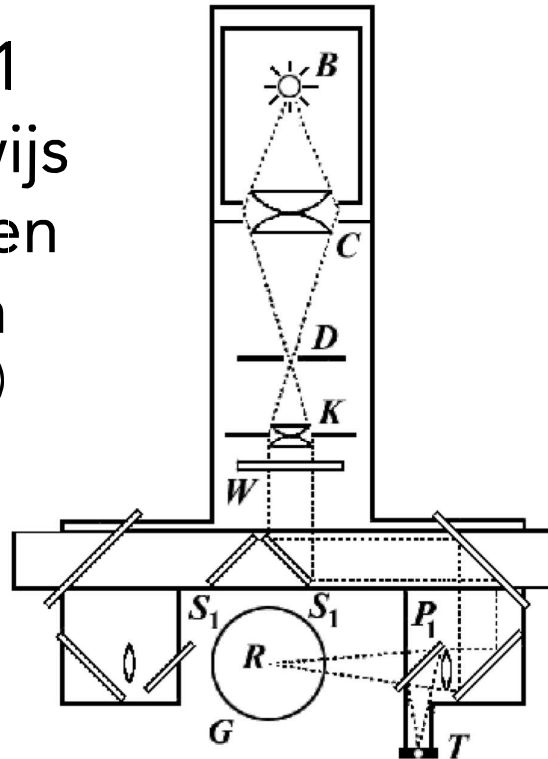


$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

Stralingsdruk: *experimenteel bewijs*

- *Pyotr Nikolaevich Lebedev*

- Publiceerde in 1901 experimenteel bewijs voor stralingsdruk en de grootte daarvan (*Annalen der Physik* 1901)



Hoe groot is stralingsdruk?

- Wat is de stralingsdruk Π door de zon?
(met intensiteit (I) 1400 W/m^2)

$$\text{stralingsdruk } \Pi = \frac{\text{intensiteit } I}{\text{lichtsnelheid } c} = \frac{1400 \text{ W/m}^2}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 4.7 \cdot 10^{-6} \text{ N/m}^2$$

- Luchtdruk is 10^5 N/m^2 !!!

Hoe groot is stralingsdruk?

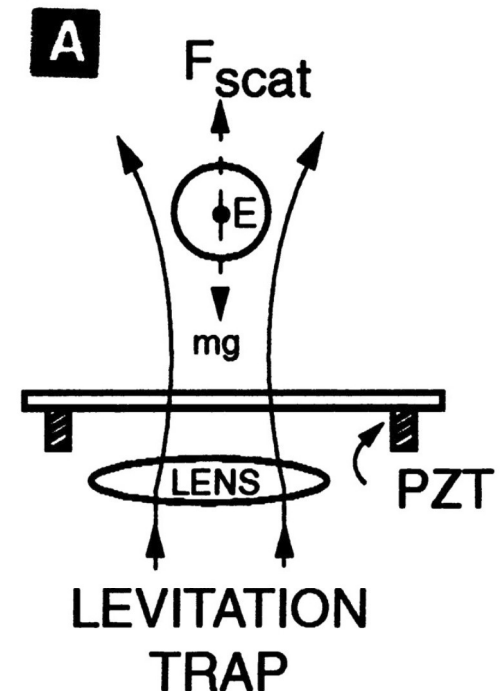
- Hoe groot is de stralingsdruk Π in het brandpunt van een gefocusseerde laserstraal?
(vermogen (P) 100 mW, oppervlak (A) $1 \mu\text{m}^2$)

$$\Pi = \frac{I}{c} = \frac{P}{A \cdot c} = \frac{0.1 \text{ W}}{10^{-12} \text{ m}^2 \times 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 333 \text{ N/m}^2$$

$$F = \Pi \cdot A = 333 \text{ N/m}^2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 = 333 \text{ pN}$$

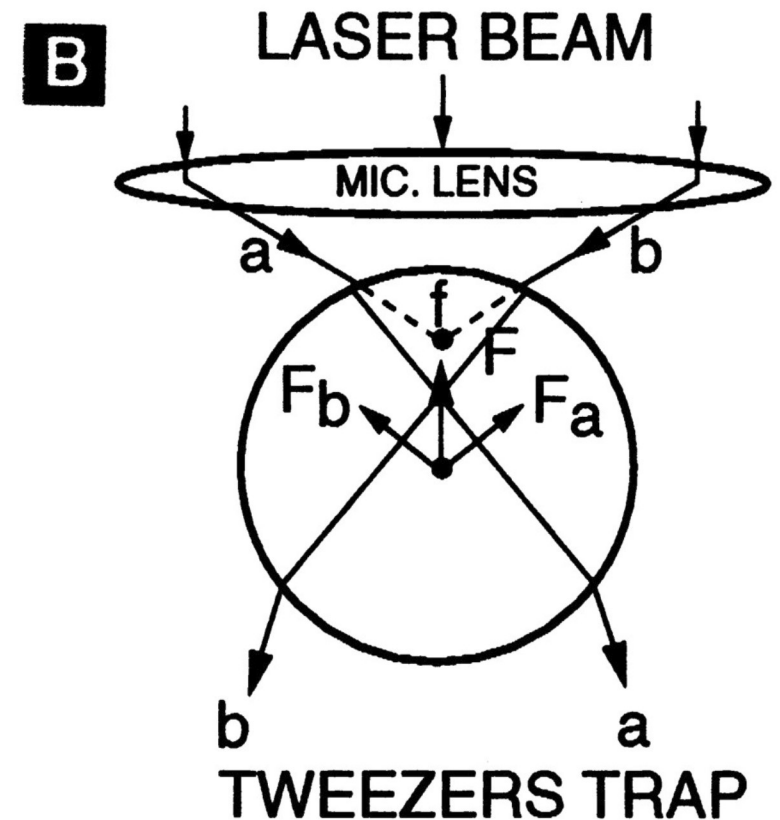
Optische levitatie

- Dit soort krachten zou genoeg moeten zijn om microscopische deeltjes op te tillen!
- *Ashkin* liet dit zien in 1971
(Ashkin & Dziedzic, APL 1971)
- Met 250 mW laser licht kon hij een 20 μm glazen bolletje hoog houden!
- Maar dit is nog geen 3D *trap*!!!

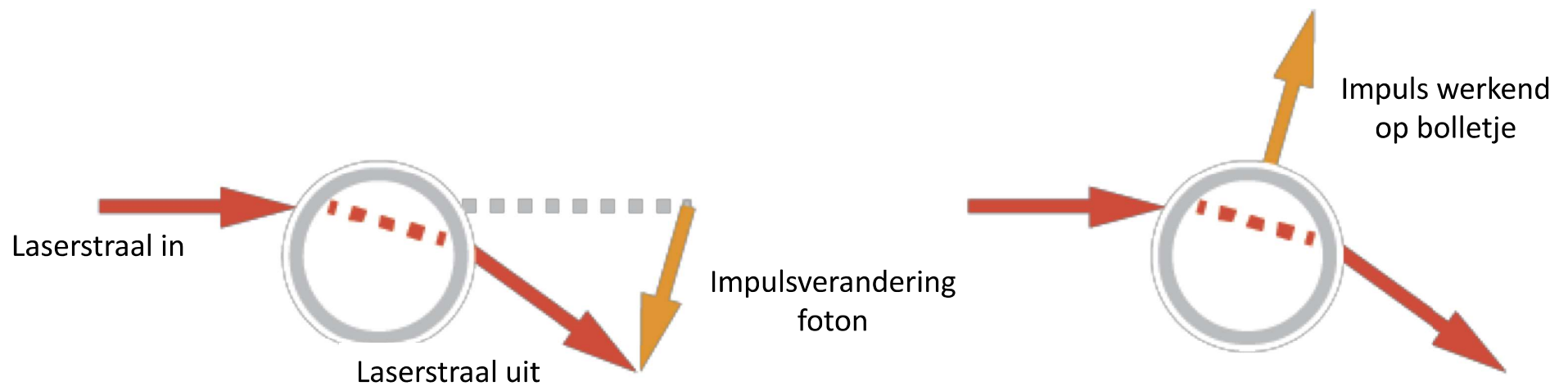


Het optisch pincet / *Optical tweezers*

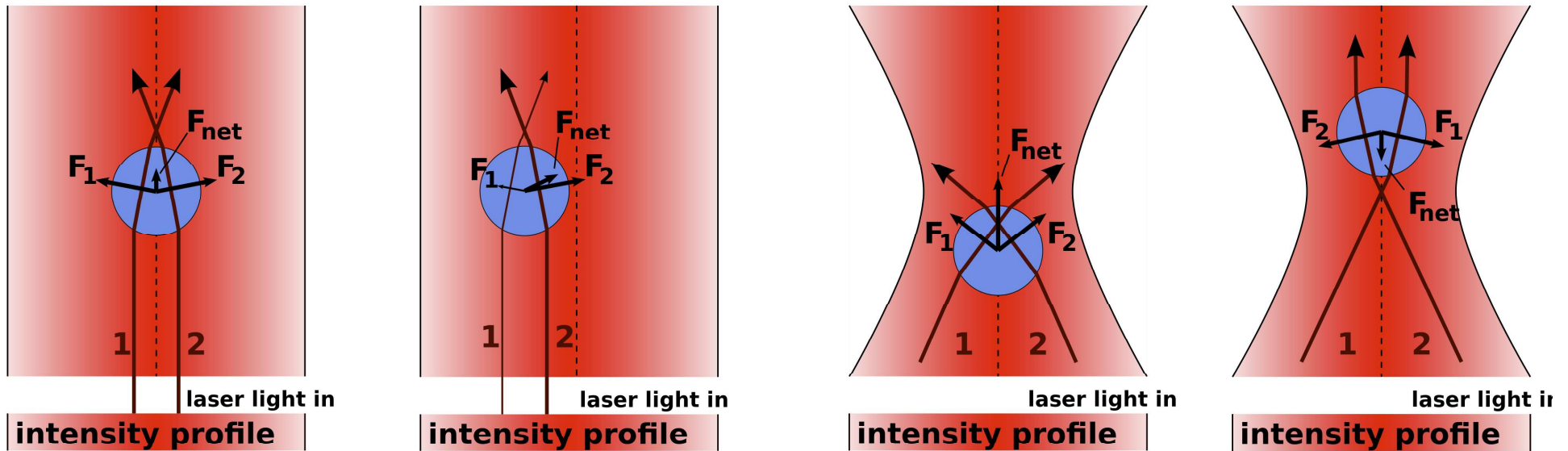
- *Ashkin* realiseerde zich dat hij door een laser te focuseren in een microscoop een 3D *trap* kon maken: het optisch pincet!
- De truc is het samenspel tussen krachten op bolletje:
 - In richting laser:
verstrooiingskracht
 - Richting brandpunt:
gradiëntkracht



Buiging van licht leidt tot impulsoverdracht



Een gefocusseerde laserbundel werkt als 3D *trap*



Als de lichtgradiënt groot is (scherp focus),
dan heffen de krachten elkaar op, vlakbij het focus:
we hebben het bolletje vast, met de laserstraal, in 3D!

Bacteriën gevangen met een optisch pincet

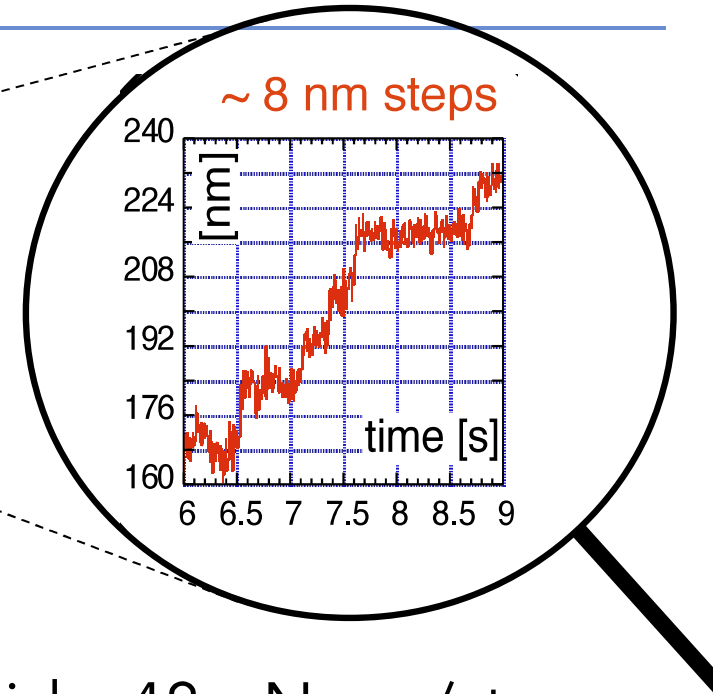
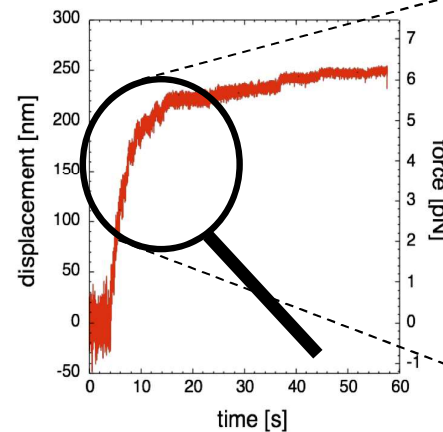
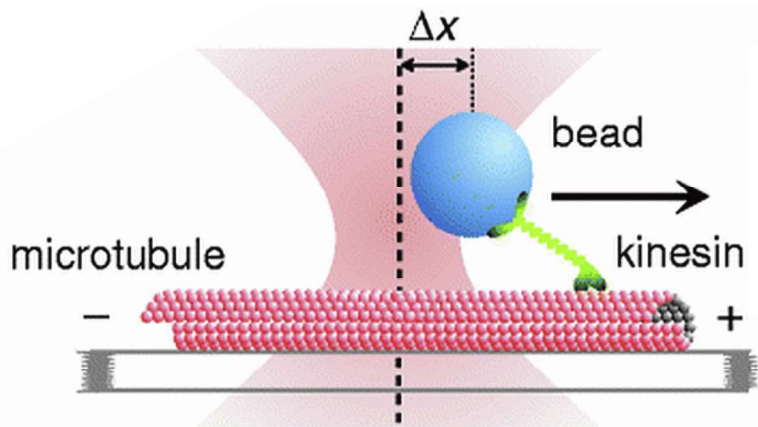


Ashkin kon:

- Bacteriën
- Algen
- Virussen

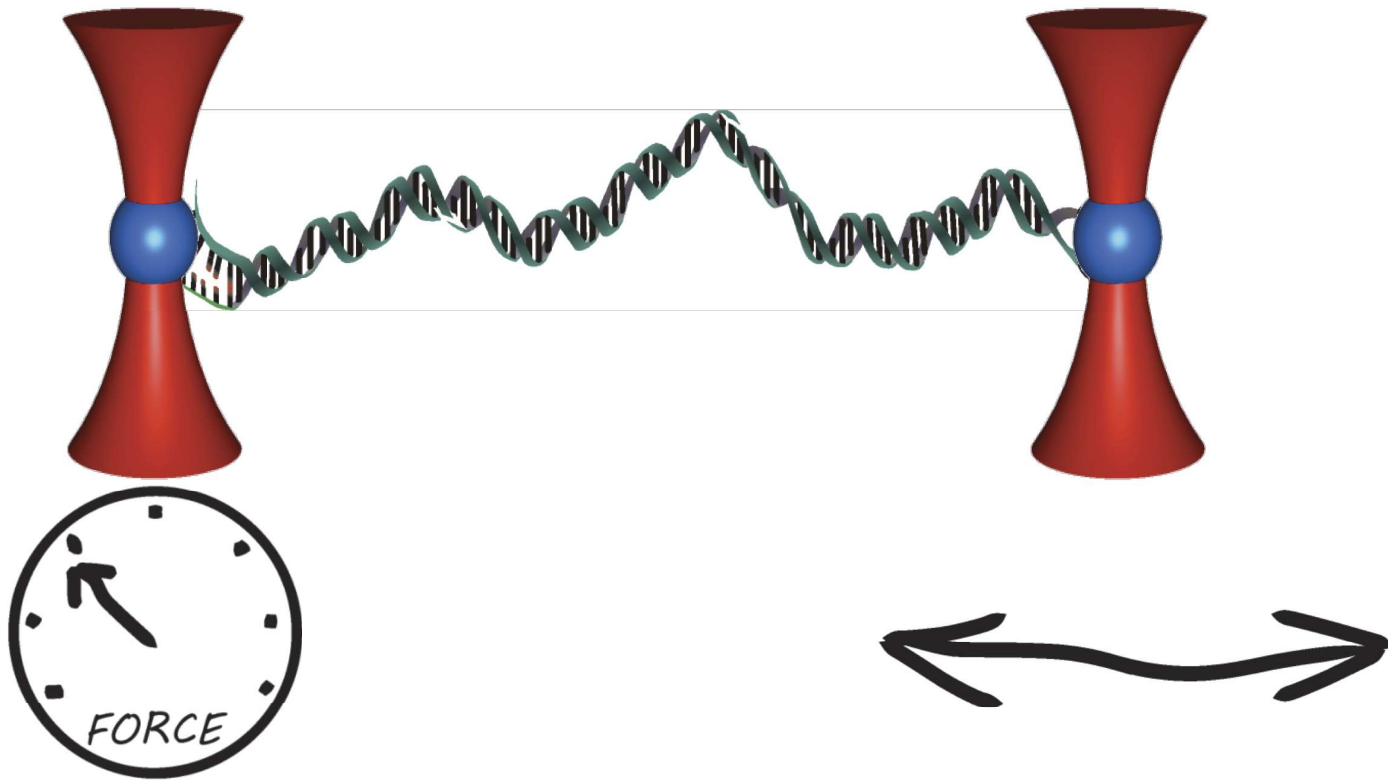
trappen

Krachtgeneratie & stappen door kinesine motoreiwitten

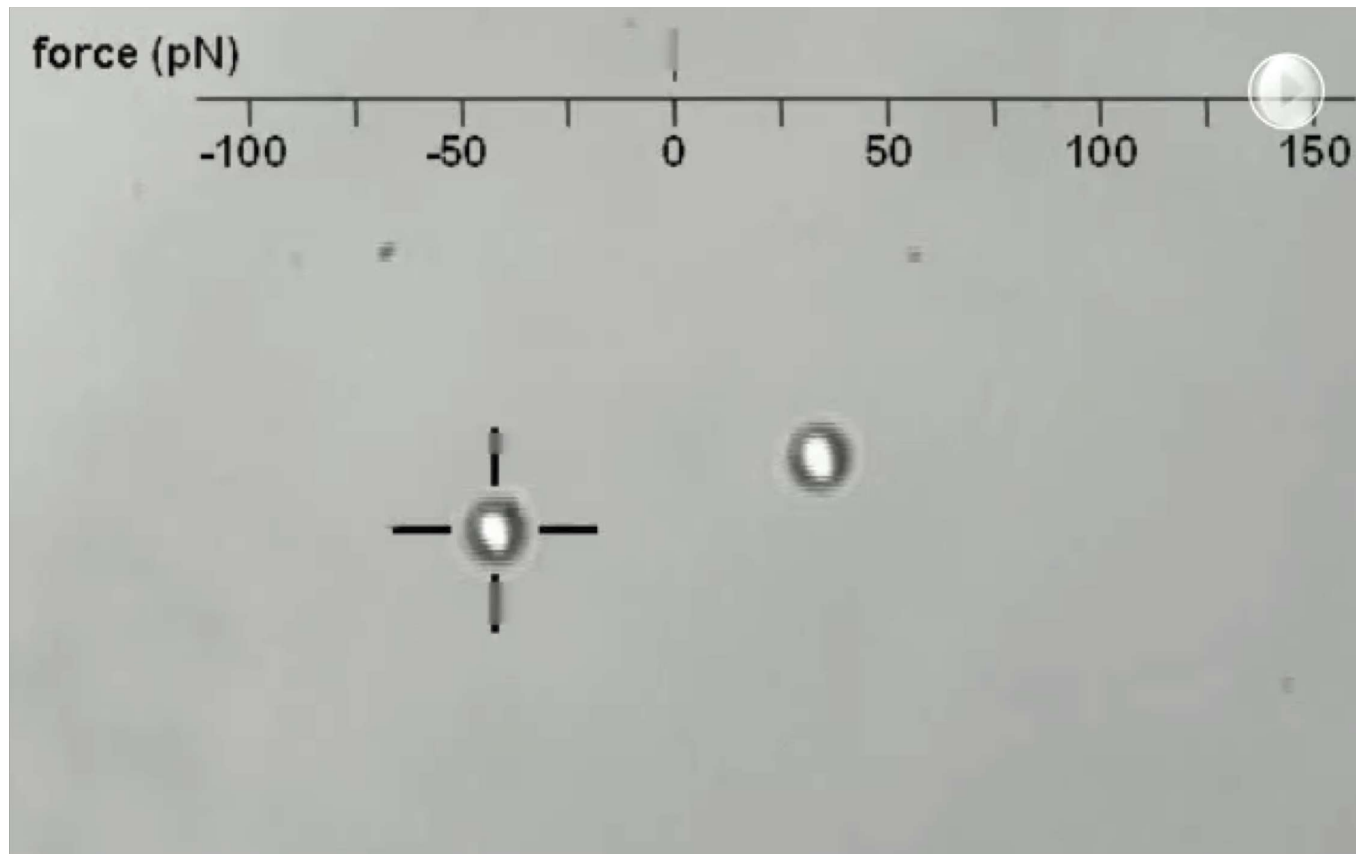


- Maximale kracht ~ 6 pN
 - 8 nm stapjes
- } Max. arbeid ~ 48 pN·nm/stap
1 ATP is ~ 100 pN·nm
Efficiency is $\sim 50\%$!

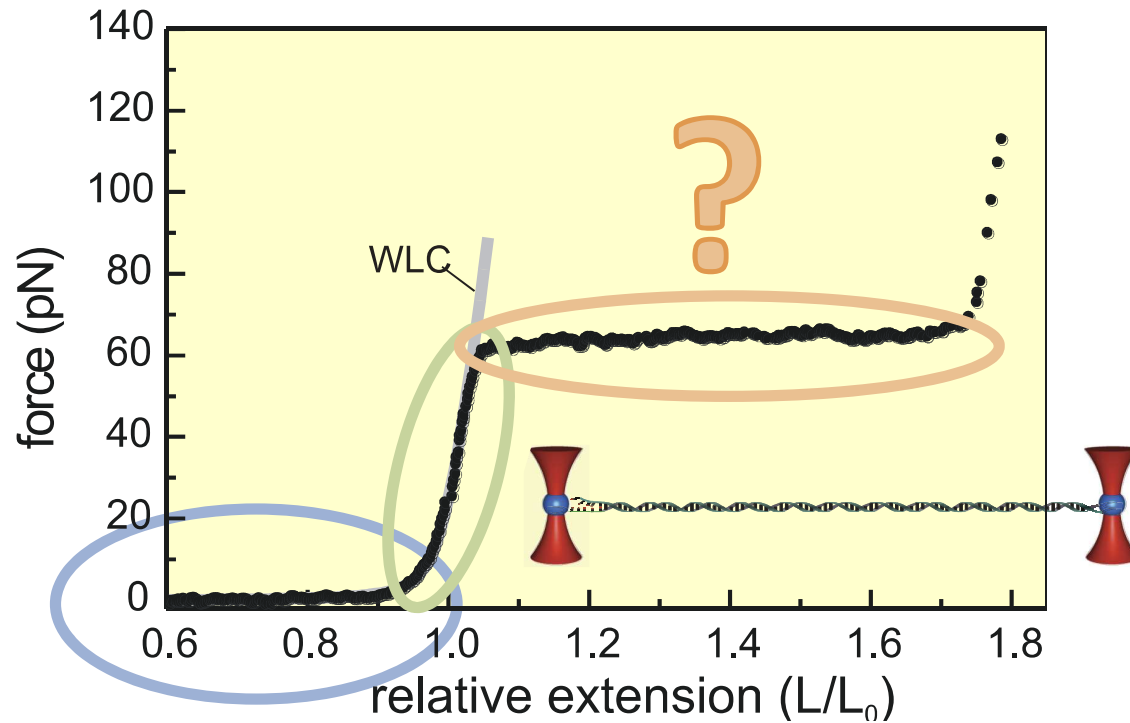
DNA onderzoek met optische pincetten @VU



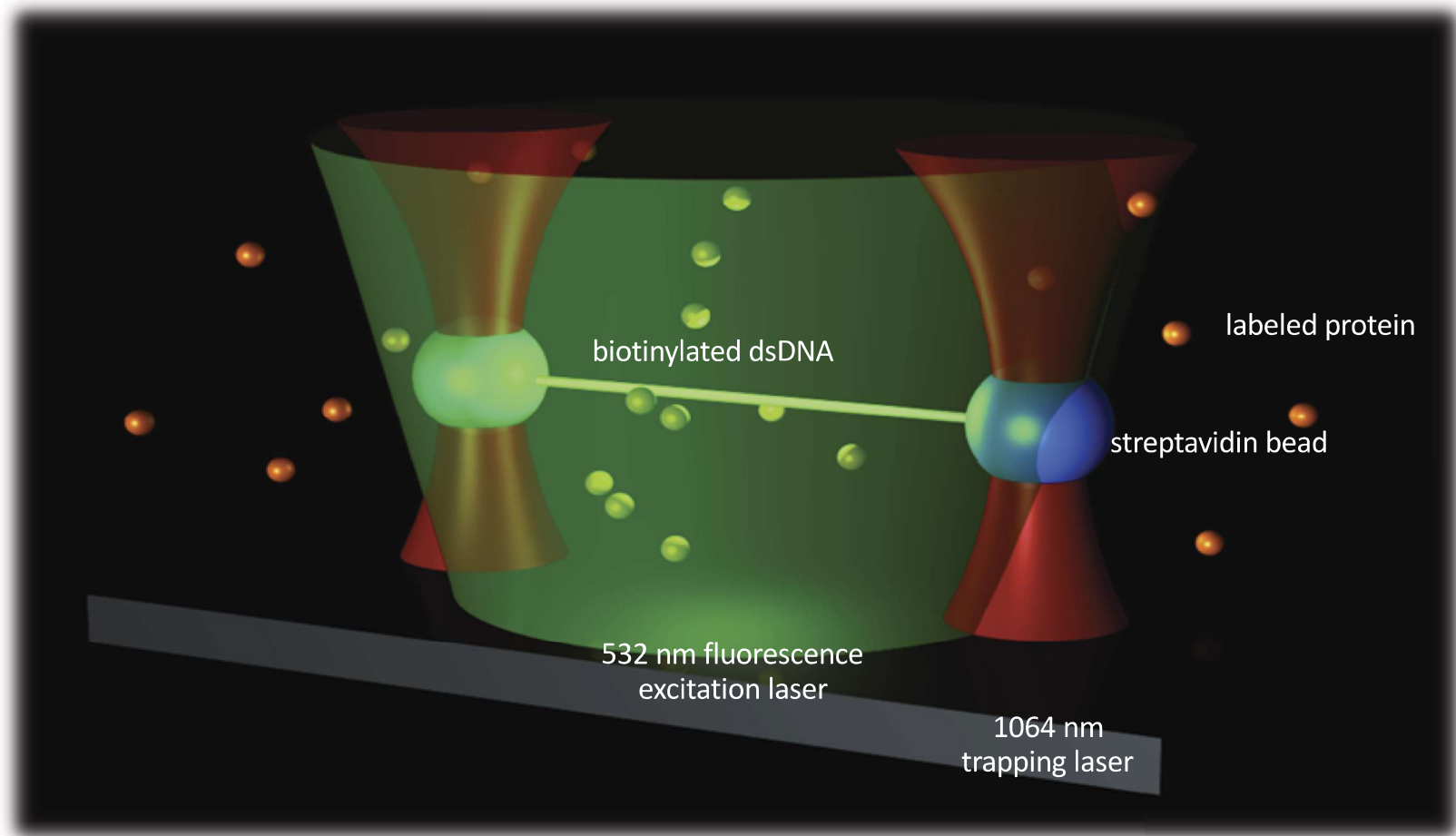
DNA onderzoek met optische pincetten @VU



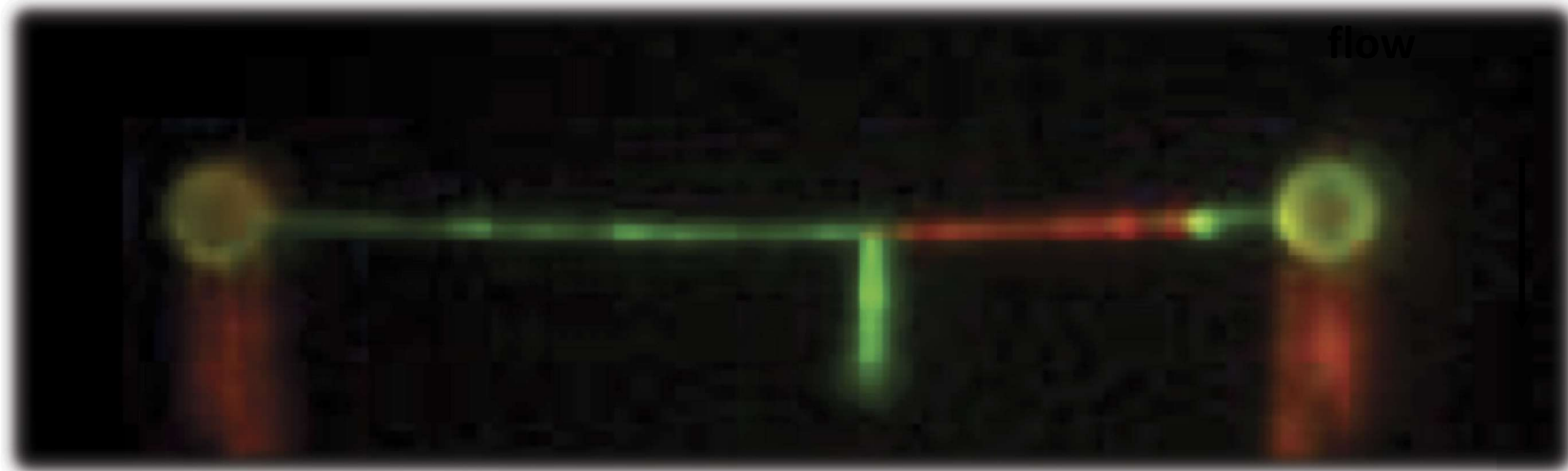
DNA onderzoek met optische pincetten @VU



Je leert nog meer als je de pincetten combineert met
fluorescentiemicroscopie!

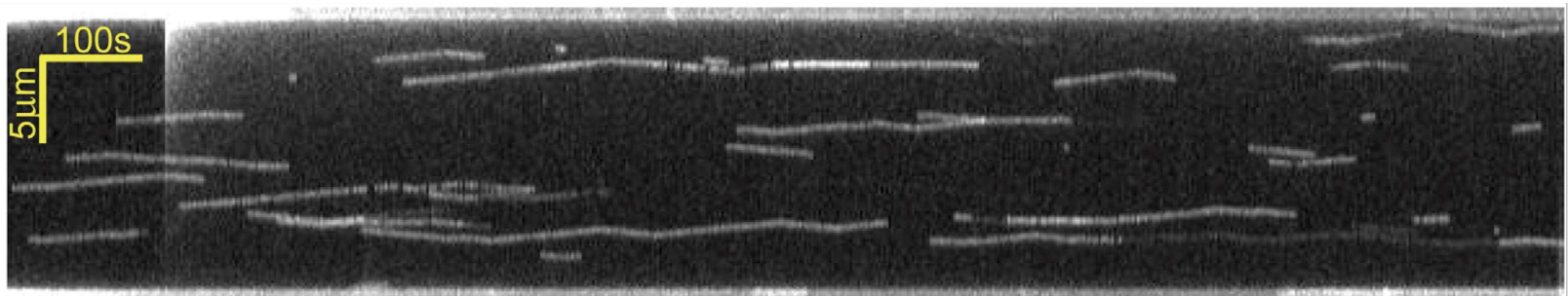


DNA overstrekking = DNA smelten!



- **groen** eGFP-RPA ssDNA
- **rood** POPO-3 dsDNA
- vloeistof stroom rekt ssDNA uit!

We kunnen enkele eiwitten over DNA zien bewegen!



$$v = 10 \text{ nm/s} \approx 30 \text{ bp/s}$$

Biebricher et al., Mol. Cell 2013

VU spin-off die optische pincetten verkoopt!



 **LUMICKS**
Capture Molecular Interactions

Meer informatie

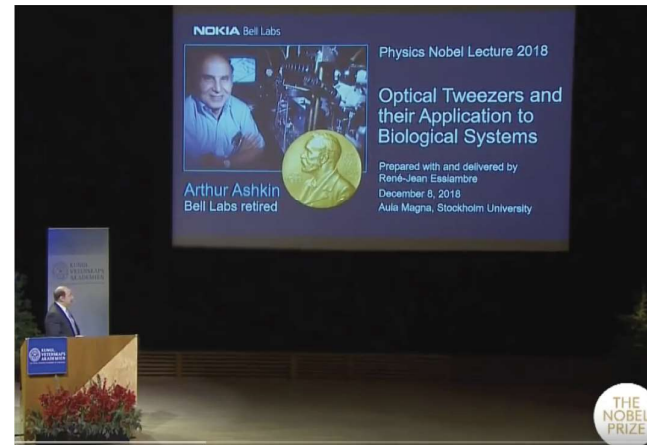
- Artikel in NTvN
(januari 2019, Meijering et al.)

- Nobel Lecture
(<https://youtu.be/wAGOArzsEmQ>)

Auteurs: Anna Meijering, Joost Geldhof, Iddo Heller, Erwin Peterman en Gijs Wuite

Het optisch pincet van Arthur Ashkin in de schijnwerpers

De Nobelprijs voor de Natuurkunde 2018



Deze presentatie:

- www.nat.vu.nl/~erwinp/downloads/TweezersVIVAFysica.pdf

