

# Neklidné molekuly

*František Slanina*

Spolupráce: P. Chvosta

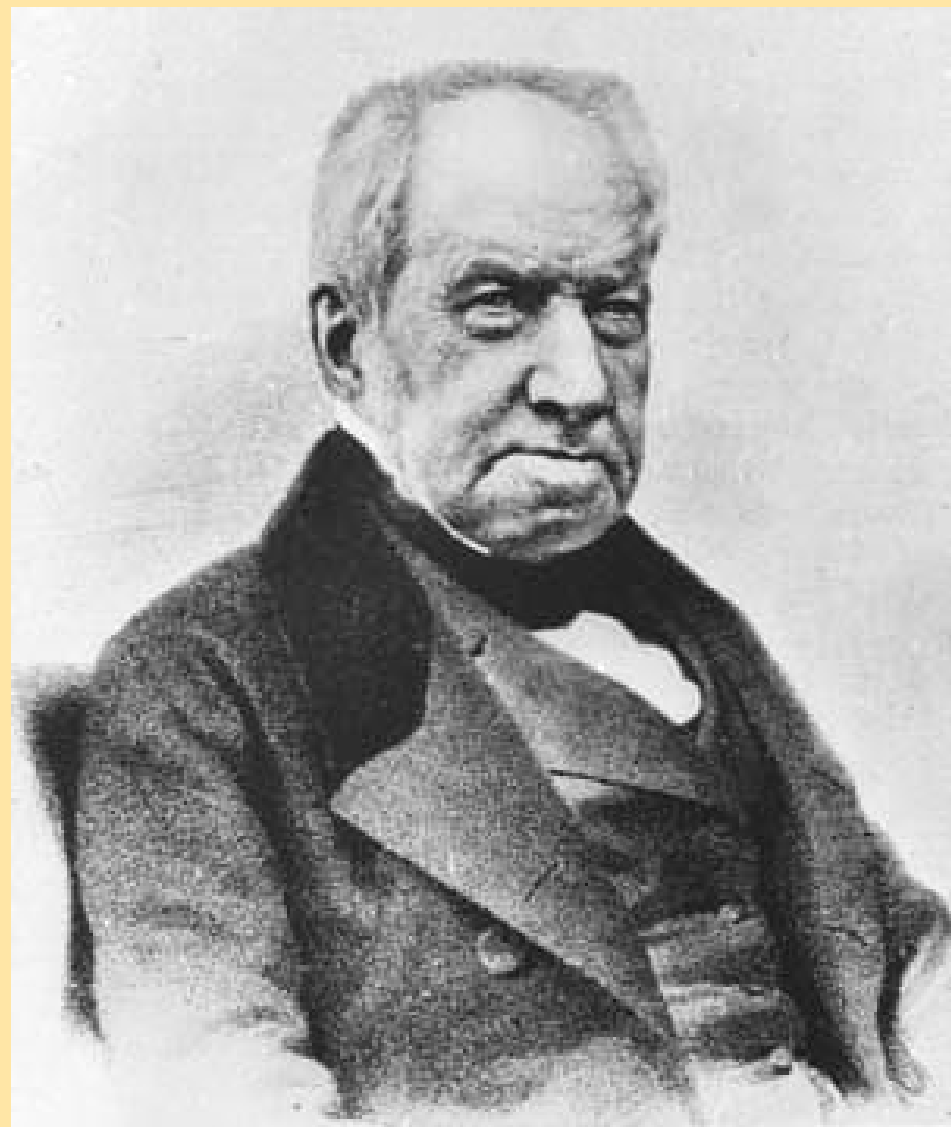
Fyzikální ústav AVČR

slanina@fzu.cz

- Robert Brown
- Perpetuum mobile pro každého
- Kde už to funguje
- Jak chytit DNA
- Nejtenčí gumička
- Zkrocení entropie



# Robert Brown ( 1773–1858)



# Robert Brown ( 1773–1858)



A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

*Made in the Months of June, July, and August, 1827,*

ON THE PARTICLES CONTAINED IN THE  
POLLEN OF PLANTS;

AND

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

BY

ROBERT BROWN,

F.R.S., HON. M.R.S.E. AND R.I. ACAD., V.P.L.S.,

MEMBER OF THE ROYAL ACADEMY OF SCIENCES OF SWEDEN, OF THE ROYAL  
SOCIETY OF DENMARK, AND OF THE IMPERIAL ACADEMY NATURE

CURIOSORUM CORRESPONDING MEMBER OF THE ROYAL

INSTITUTES OF FRANCE AND OF THE NETHERLANDS,

OF THE IMPERIAL ACADEMY OF SCIENCES AT

A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

*Made in the Months of June, July, and August, 1827,*

ON THE PARTICLES CONTAINED **IN** THE  
POLLEN OF PLANTS;

AND

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

BY

ROBERT BROWN,

F.R.S., HON. M.R.S.E. AND R.I. ACAD., V.P.L.S.,

MEMBER OF THE ROYAL ACADEMY OF SCIENCES OF SWEDEN, OF THE ROYAL  
SOCIETY OF DENMARK, AND OF THE IMPERIAL ACADEMY NATURE

CURIOSORUM; CORRESPONDING MEMBER OF THE ROYAL

INSTITUTES OF FRANCE AND OF THE NETHERLANDS,

OF THE IMPERIAL ACADEMY OF SCIENCES AT

A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

*Made in the Months of June, July, and August, 1827,*

ON THE PARTICLES CONTAINED **IN** THE  
POLLEN OF PLANTS;

AND

This plant was *Clarckia pulchella*,

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

BY

ROBERT BROWN,

F.R.S., HON. M.R.S.E. AND R.I. ACAD., V.P.L.S.,

MEMBER OF THE ROYAL ACADEMY OF SCIENCES OF SWEDEN, OF THE ROYAL  
SOCIETY OF DENMARK, AND OF THE IMPERIAL ACADEMY NATURE  
CURIOSORUM; CORRESPONDING MEMBER OF THE ROYAL

INSTITUTES OF FRANCE AND OF THE NETHERLANDS,



A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

*Made in the Months of June, July, and August, 1827,*

ON THE PARTICLES CONTAINED **IN** THE  
POLLEN OF PLANTS;

$\frac{1}{4000}$ th to about  $\frac{1}{5000}$ th of an inch in  
ure between cylindrical and oblong,

AND

This plant was *Clarckia pulchella*,

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

BY

ROBERT BROWN,

F.R.S., HON. M.R.S.E. AND R.I. ACAD., V.P.L.S.,

MEMBER OF THE ROYAL ACADEMY OF SCIENCES OF SWEDEN, OF THE ROYAL  
SOCIETY OF DENMARK, AND OF THE IMPERIAL ACADEMY NATURE  
CURIOSORUM; CORRESPONDING MEMBER OF THE ROYAL

INSTITUTES OF FRANCE AND OF THE NETHERLANDS,

A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

*Made in the Months of June, July, and August, 1827,*

ON THE PARTICLES CONTAINED **IN** THE  
POLLEN OF PLANTS;

$\frac{1}{4000}$ th to about  $\frac{1}{5000}$ th of an inch in  
ure between cylindrical and oblong,

AND

This plant was *Clarckia pulchella*,

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

BY

ROBERT BROWN,

F.R.S., HON. M.R.S.E. AND R.I. ACAD., V.P.L.S.,

MEMBER OF THE ROYAL ACADEMY OF SCIENCES OF SWEDEN, OF THE ROYAL  
SOCIETY OF DENMARK, AND OF THE IMPERIAL ACADEMY NATURE  
CURIOSORUM; CORRESPONDING MEMBER OF THE ROYAL

INSTITUTES OF FRANCE AND OF THE NETHERLANDS,



A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

*Made in the Months of June, July, and August, 1827,*

ON THE PARTICLES CONTAINED **IN** THE  
POLLEN OF PLANTS;

$\frac{1}{4000}$ th to about  $\frac{1}{5000}$ th of an inch in  
ure between cylindrical and oblong,

AND

This plant was *Clarckia pulchella*,

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

the various animal and vegetable tissues,  
whether living or dead,

Molecules were found in abundance.

BY

ROBERT BROWN,

F.R.S., HON. M.R.S.E. AND R.I. ACAD., V.P.L.S.,

MEMBER OF THE ROYAL ACADEMY OF SCIENCES OF SWEDEN, OF THE ROYAL

SOCIETY OF DENMARK, AND OF THE IMPERIAL ACADEMY NATURE

CURIOSORUM; CORRESPONDING MEMBER OF THE ROYAL

INSTITUTES OF FRANCE AND OF THE NETHERLANDS,

A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

Made in the Months of June, July, and August, 1827,

ON THE PARTICLES CONTAINED **IN** THE  
POLLEN OF PLANTS;

$\frac{1}{4000}$ th to about  $\frac{1}{5000}$ th of an inch in  
size between cylindrical and oblong,

AND

This plant was *Clarckia pulchella*,

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

the various animal and vegetable tissues,  
whether living or dead,

Molecules were found in abundance.

BY

the dust or soot deposited on all  
bodies in such quantity, especially  
in London, is entirely  
composed of these molecules.

ROBERT BROWN,  
F.R.S.E. AND R.I. ACAD., V.P.L.S.,  
CORRESPONDING MEMBER OF THE ROYAL  
ACADEMY OF SCIENCES OF SWEDEN, OF THE ROYAL  
ACADEMY OF SCIENCES OF THE IMPERIAL ACADEMY NATURE  
AND OF THE IMPERIAL ACADEMY OF SCIENCES AT  
BRUSSELS, AND OF THE ROYAL  
ACADEMY OF SCIENCES AT

INSTITUTES OF FRANCE AND OF THE NETHERLANDS,  
OF THE IMPERIAL ACADEMY OF SCIENCES AT

A  
BRIEF ACCOUNT  
OF  
MICROSCOPICAL OBSERVATIONS

Made in the Months of June, July, and August, 1827,

ON THE PARTICLES CONTAINED **IN** THE  
POLLEN OF PLANTS;

$\frac{1}{4000}$ th to about  $\frac{1}{5000}$ th of an inch in  
ure between cylindrical and oblong,

AND

This plant was *Clarckia pulchella*,

ON THE GENERAL EXISTENCE OF ACTIVE  
MOLECULES

IN ORGANIC AND INORGANIC BODIES.

the various animal and vegetable tissues,  
whether living or dead,

Molecules were found in abundance.

the dust or soot deposited on all  
bodies in such quantity, especially  
in London, is entirely  
composed of these molecules.

Rocks of all ages, including those in which organic  
remains have never been found, yielded the molecules in  
abundance.

fragment of the Sphinx

travertine, stalactites, lava, obsidian,  
pumice, volcanic ashes, and meteorites from various locali-  
ties.<sup>1</sup> Of metals I may mention manganese, nickel, plum-  
bago, bismuth, antimony, and arsenic.



5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*  
*von A. Einstein.*

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwies sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

§ 1. *Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.*

Im Teilvolumen  $V^*$  einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen  $V$  seien  $z$  Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist

5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*  
*von A. Einstein.*

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwies sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

§ 1. *Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.*

Im Teilvolumen  $V^*$  einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen  $V$  seien  $z$  Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist





5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*  
*von A. Einstein.*

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwies sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

§ 1. *Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.*

Im Teilvolumen  $V^*$  einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen  $V$  seien  $z$  Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist



5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*  
*von A. Einstein.*

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwies sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

§ 1. *Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.*

Im Teilvolumen  $V^*$  einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen  $V$  seien  $z$  Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist





5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*  
*von A. Einstein.*

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwies sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

§ 1. *Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.*

Im Teilvolumen  $V^*$  einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen  $V$  seien  $z$  Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist



5. Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;  
von A. Einstein.

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwiese sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

§ 1. Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.

Im Teilvolumen  $V^*$  einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen  $V$  seien  $z$  Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist





5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*  
*von A. Einstein.*

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß nach der molekularkinetischen Theorie der Wärme in Flüssigkeiten suspendierte Körper von mikroskopisch sichtbarer Größe infolge der Molekularbewegung der Wärme Bewegungen von solcher Größe ausführen müssen, daß diese Bewegungen leicht mit dem Mikroskop nachgewiesen werden können. Es ist möglich, daß die hier zu behandelnden Bewegungen mit der sogenannten „Brownschen Molekularbewegung“ identisch sind; die mir erreichbaren Angaben über letztere sind jedoch so ungenau, daß ich mir hierüber kein Urteil bilden konnte.

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erwiese sich umgekehrt die Voraussage dieser Bewegung als unzutreffend, so wäre damit ein schwerwiegendes Argument gegen die molekularkinetische Auffassung der Wärme gegeben.

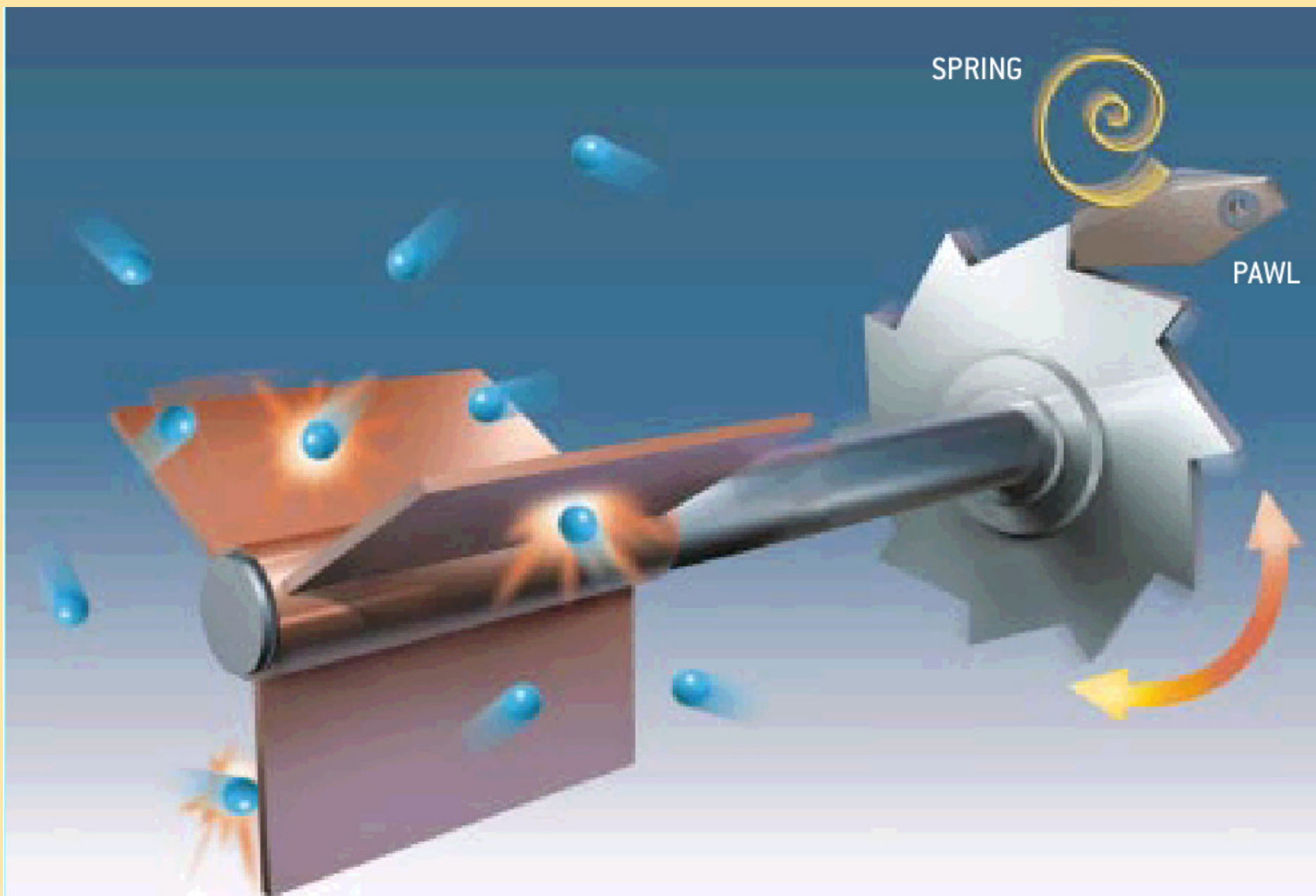
§ 1. Über den suspendierten Teilchen zuzuschreibenden osmotischen Druck.

Im Teilvolumen  $V^*$  einer Flüssigkeit vom Gesamtvolumen  $V$  seien  $z$  Gramm-Moleküle eines Nichtelektrolyten gelöst. Ist

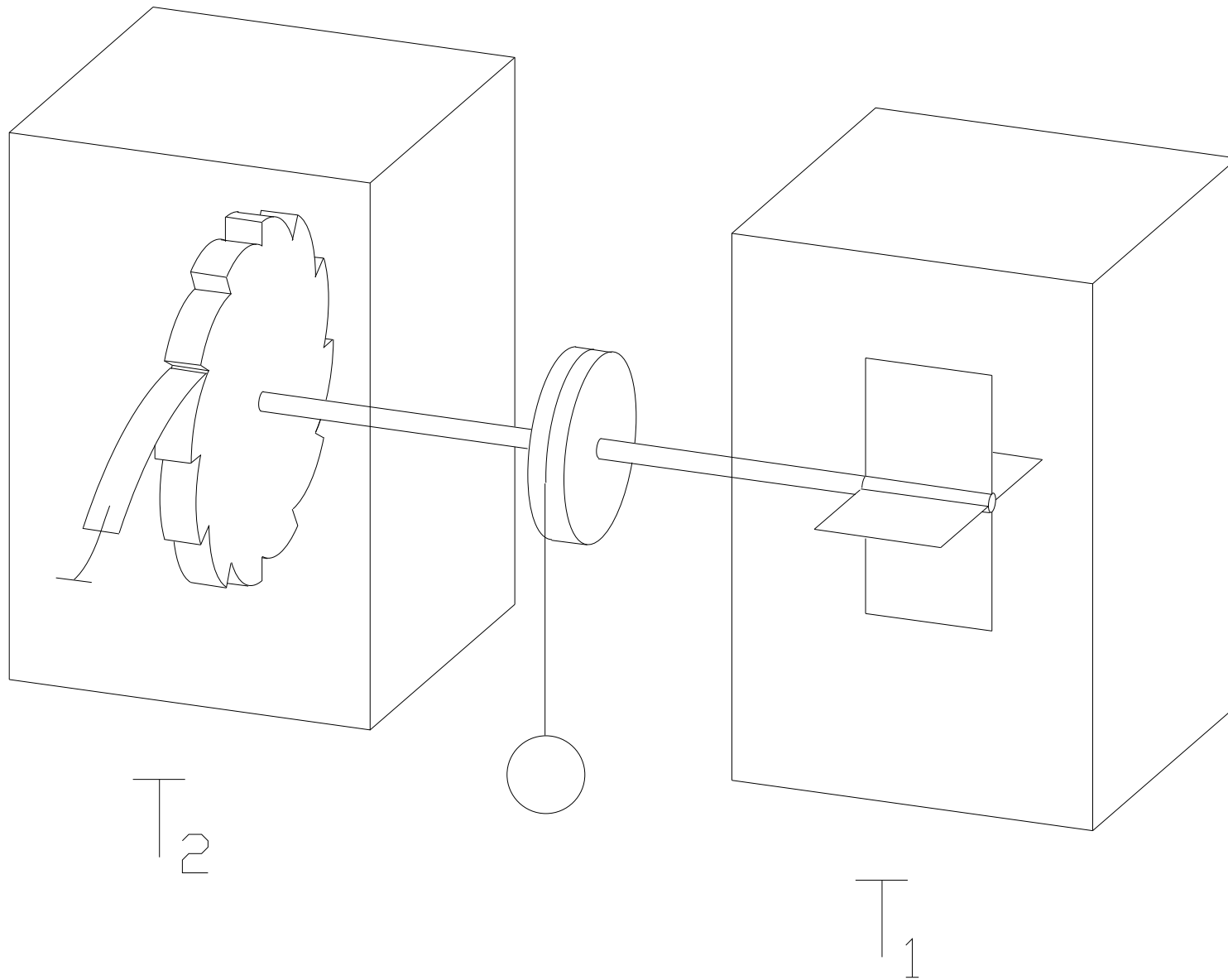




# Efekt rohatky (Smoluchowski, Feynman,...)



# Efekt rohatky (Smoluchowski, Feynman,...)



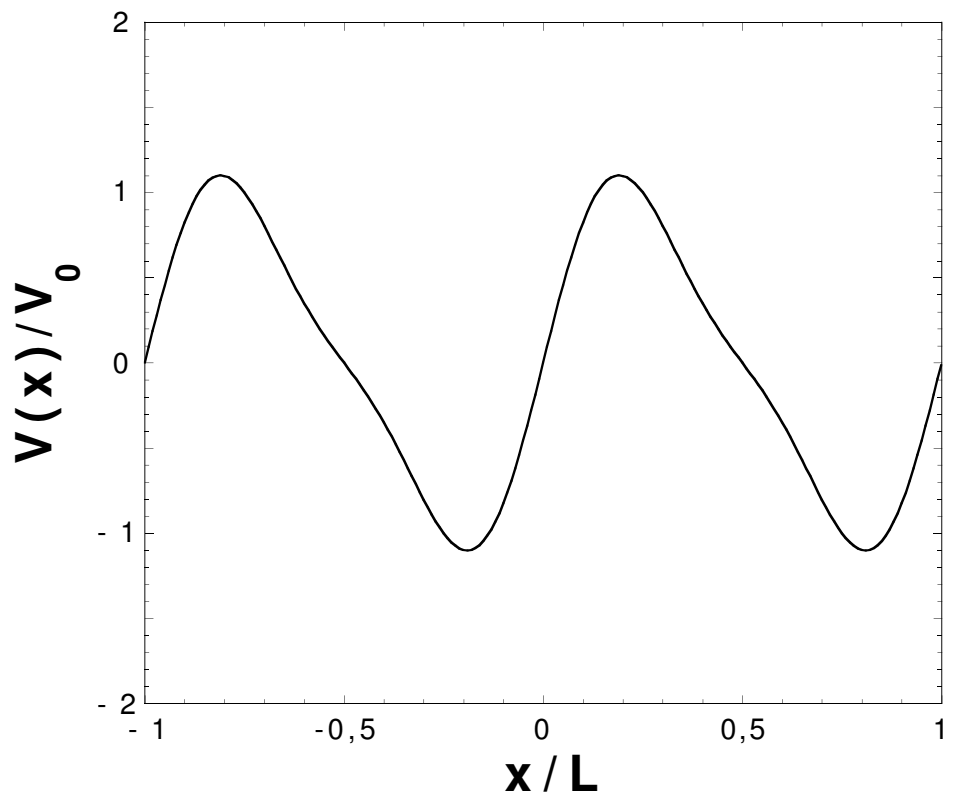
ingredience:

- 1) Nerovnovážný otevřený systém { Přepínání  
kolébání



ingredience:

- 1) Nerovnovážený otevřený systém
  - 2) zrcadlová nesymetrie
- { Přepínání  
kolébání

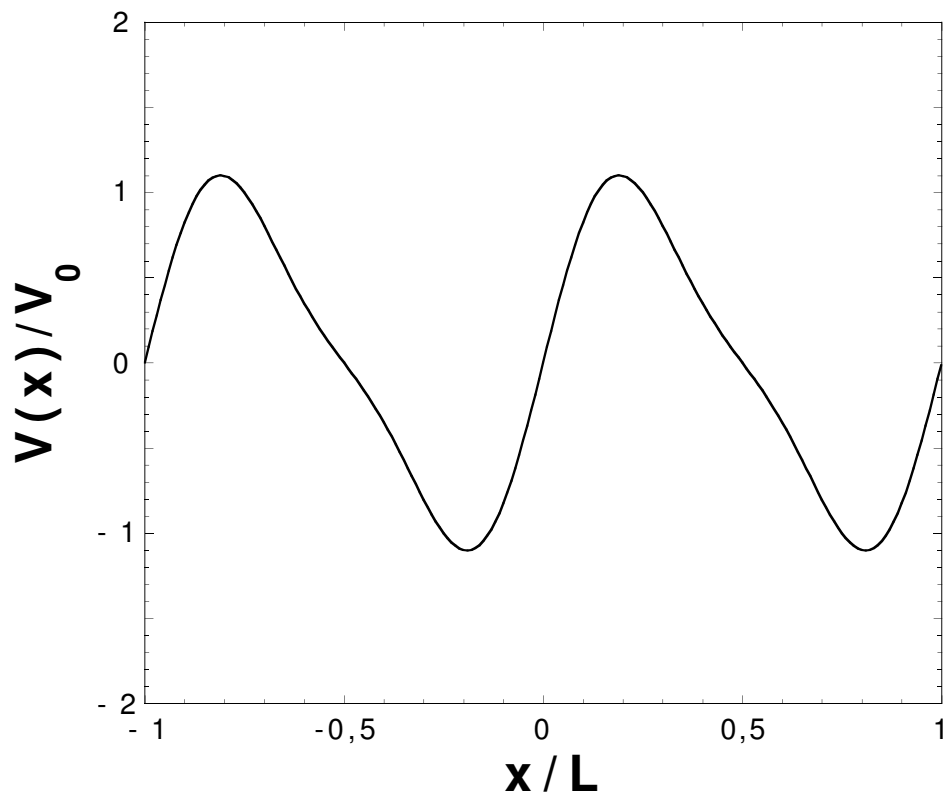


Volnoběh

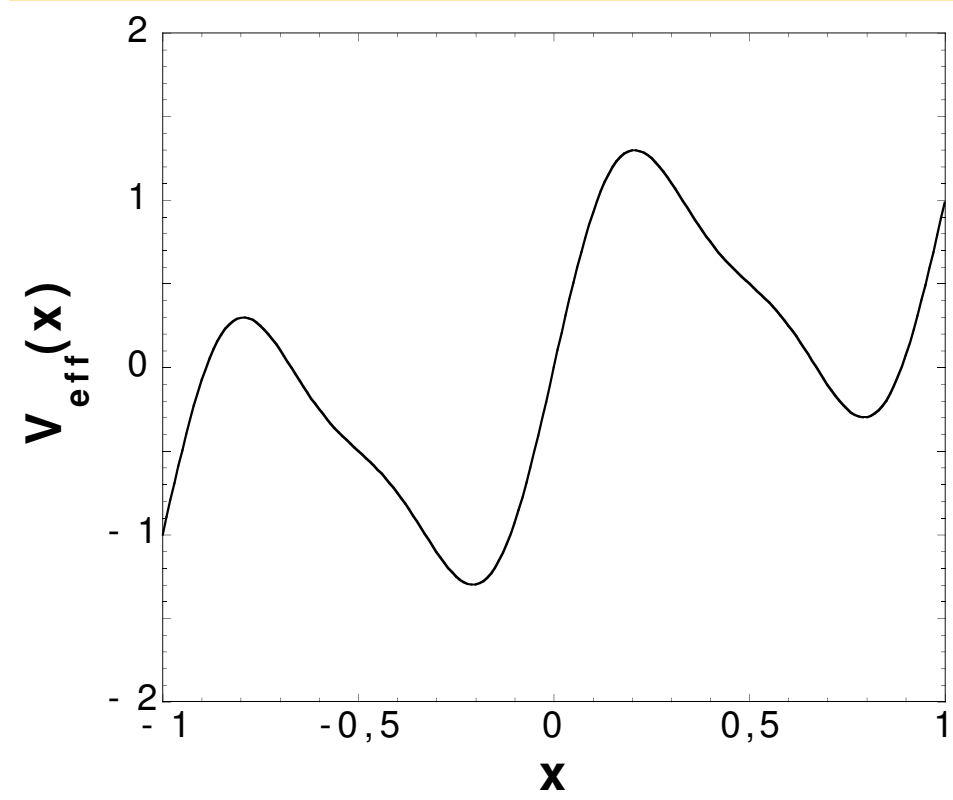


ingredience:

- 1) Nerovnovážený otevřený systém
  - 2) zrcadlová nesymetrie
- } Přepínání kolébání



Volnoběh

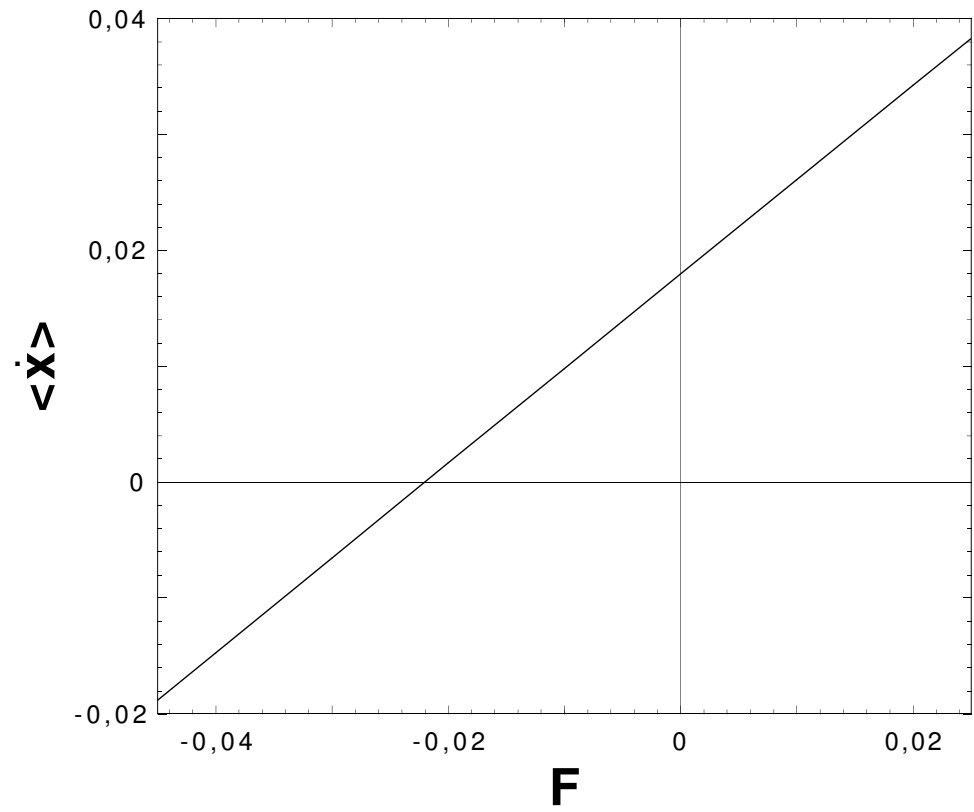
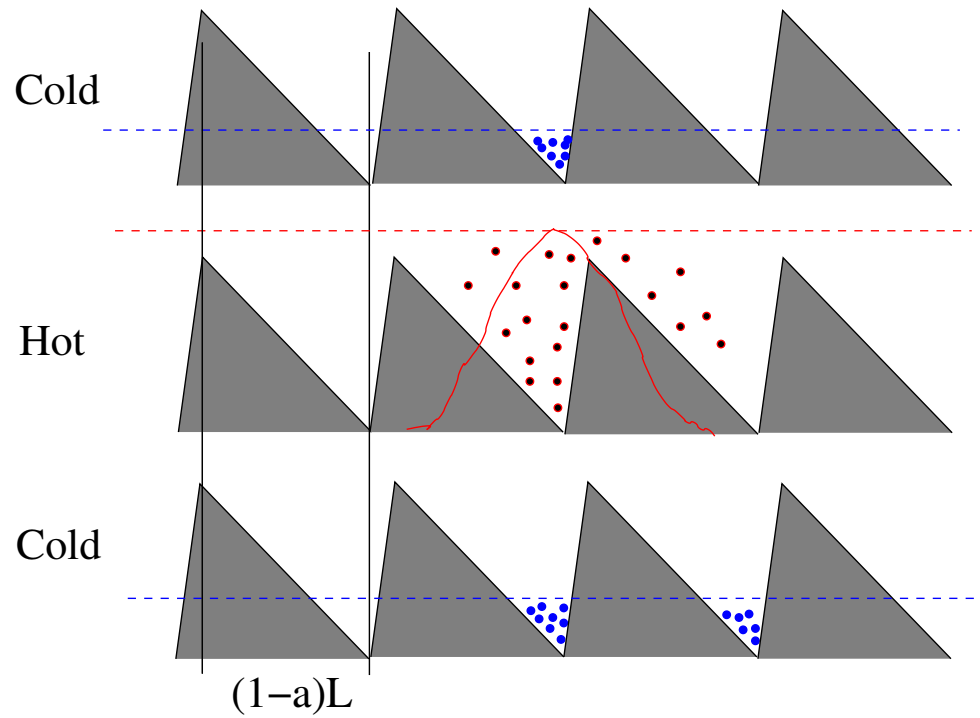


S nákladem





# Teplotní rohátka

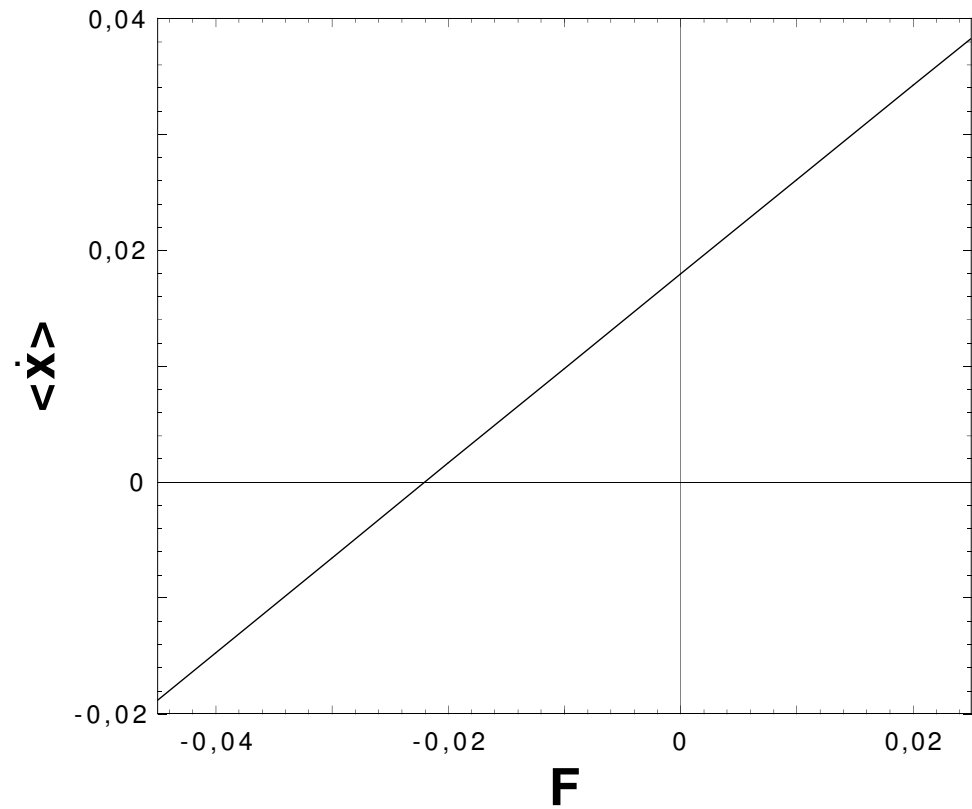
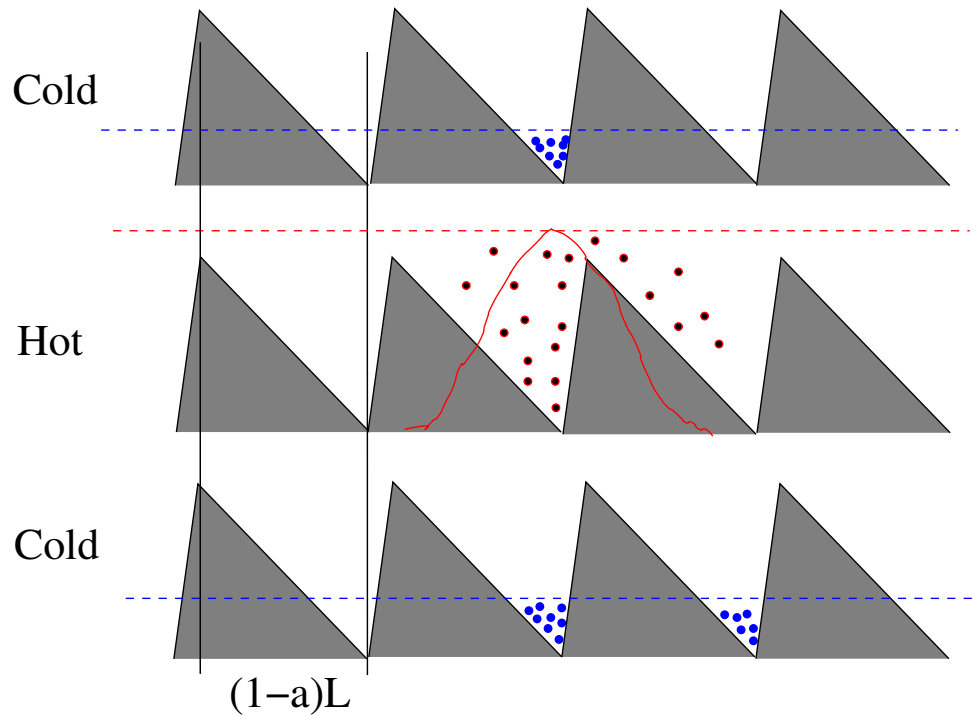


Difuze

proud



# Teplotní rohatka



Difuze

proud

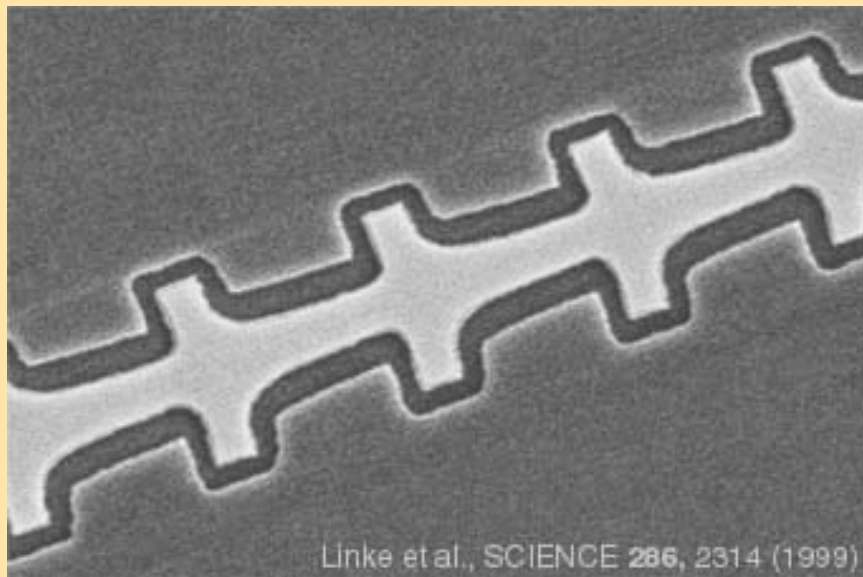
# Kolébací rohatka

(koho to zajímá: Aristotelovská mechanika)

$$\frac{d}{dt}x(t) = -\frac{\partial V(x)}{\partial x} + F_{\text{load}} + F_0 \sin \omega t + \xi(t)$$



# Technické realizace

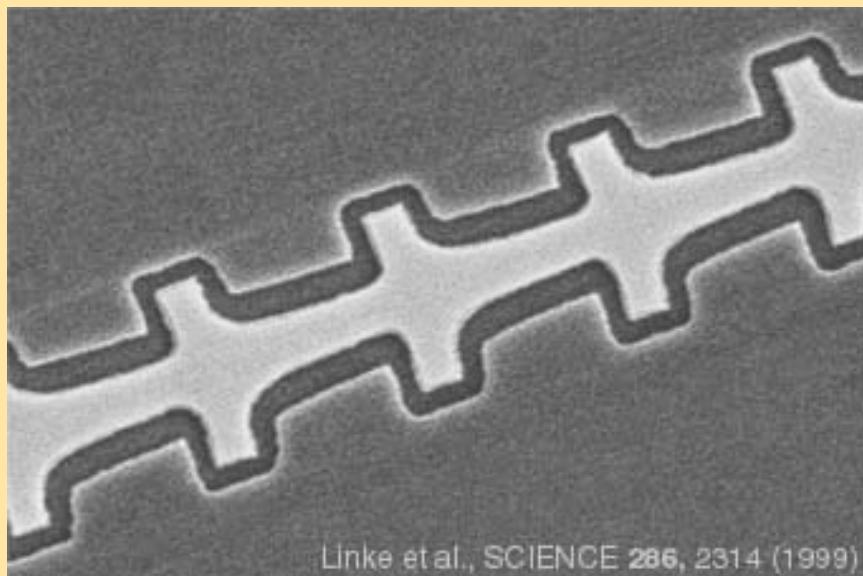


Heterostruktura na bázi GaAs/AlGaAs.

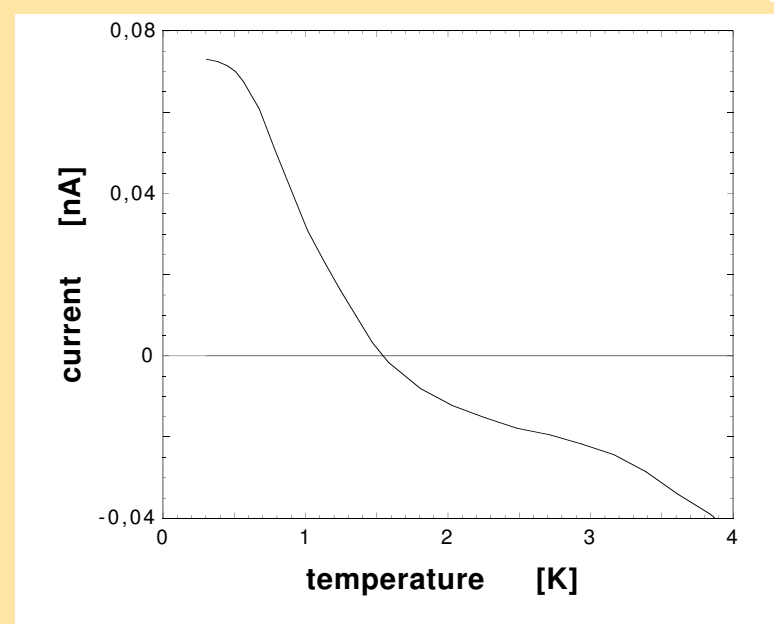
Perioda  $L \simeq 1.2\mu\text{m}$ .



# Technické realizace



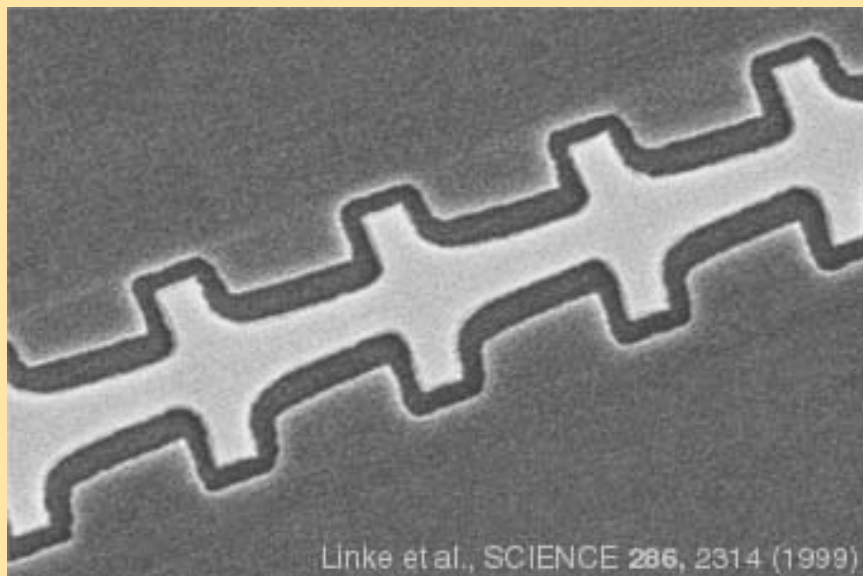
Heterostruktura na bázi GaAs/AlGaAs.  
Perioda  $L \simeq 1.2\mu\text{m}$ .



Napětí skáče mezi  $\pm 1\text{mV}$ , frekvence 191Hz



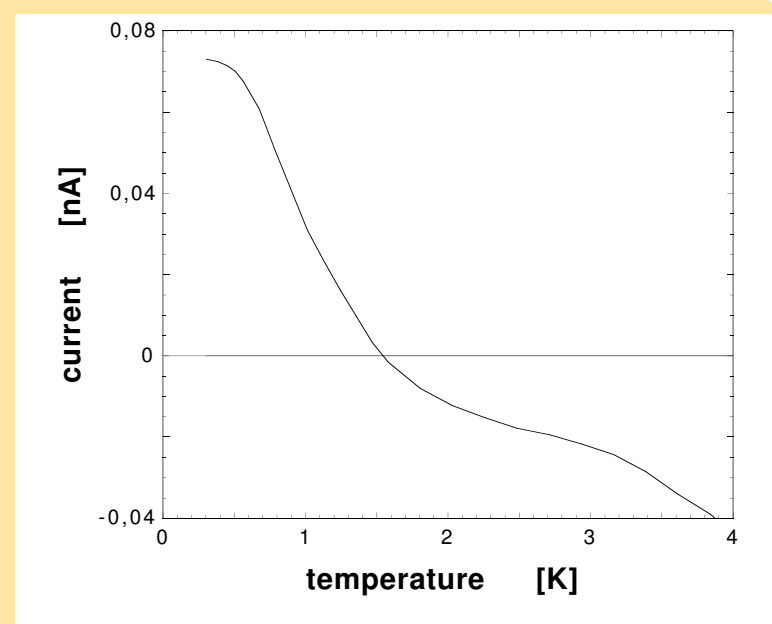
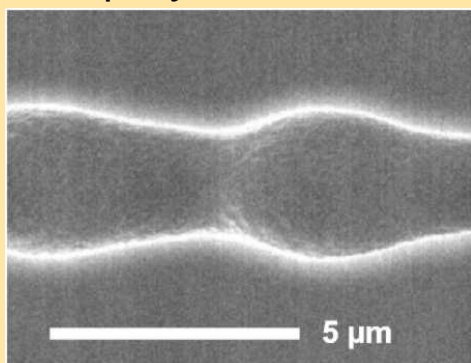
# Technické realizace



Heterostruktura na bázi GaAs/AlGaAs.

Perioda  $L \simeq 1.2 \mu\text{m}$ .

nanopóry v křemíku

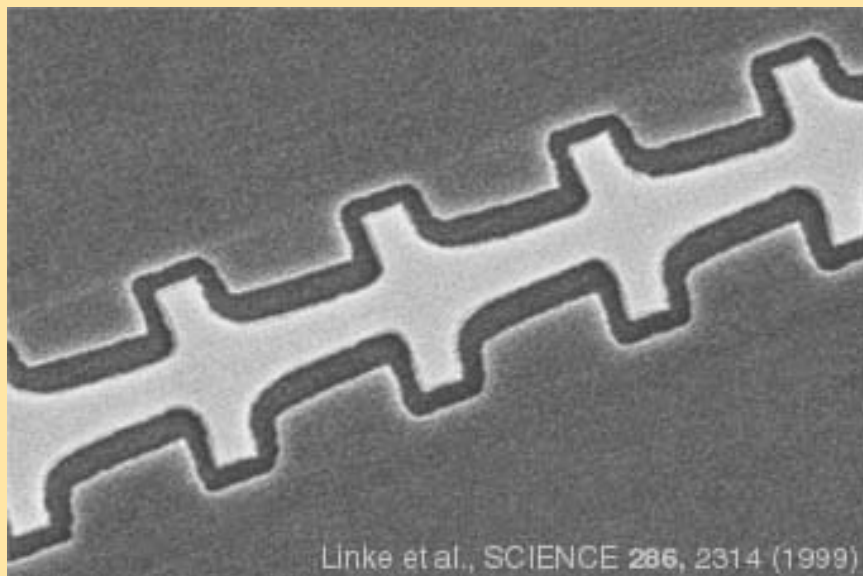


Napětí skáče mezi  $\pm 1 \text{ mV}$ , frekvence 191 Hz





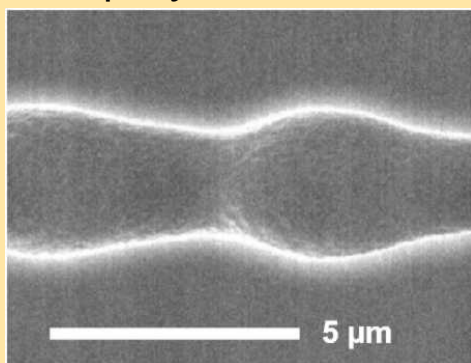
# Technické realizace



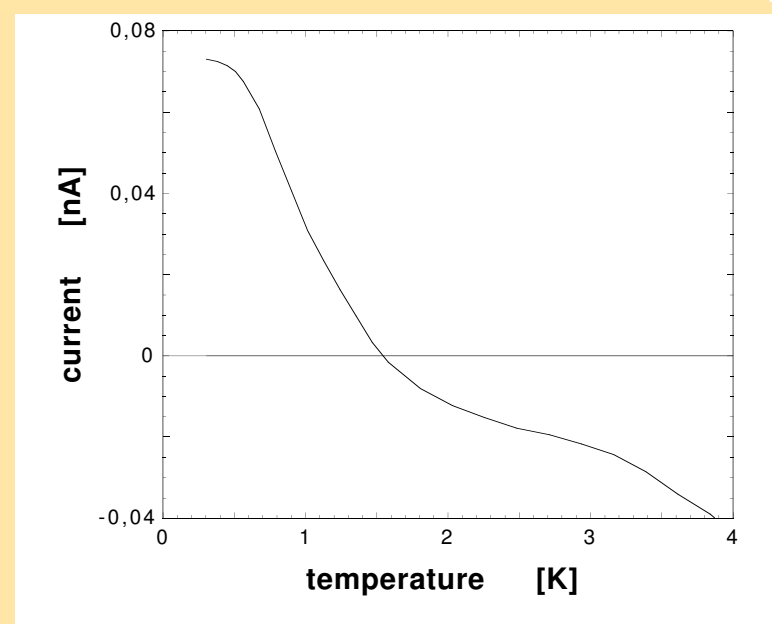
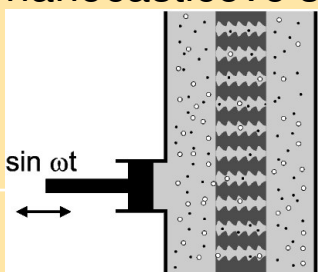
Heterostruktura na bázi GaAs/AlGaAs.

Perioda  $L \simeq 1.2 \mu\text{m}$ .

nanopóry v křemíku

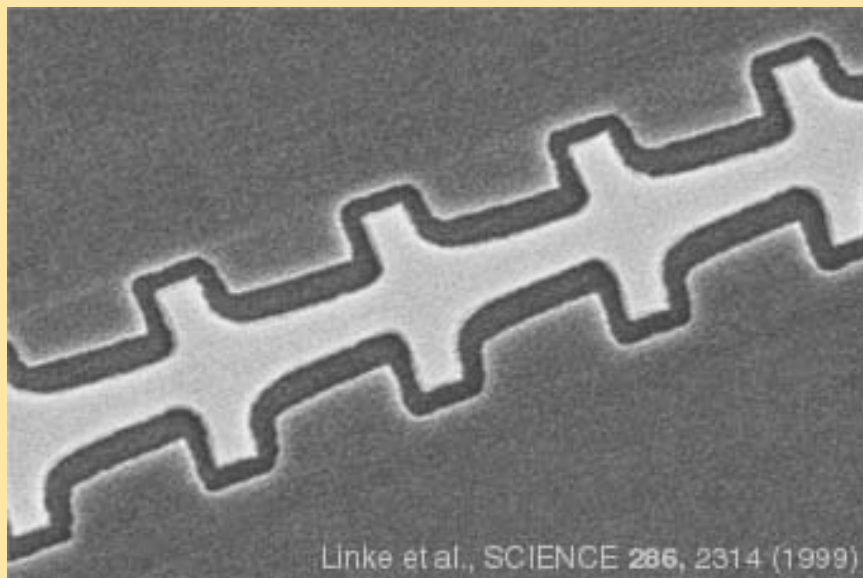


nanočásticové sítko



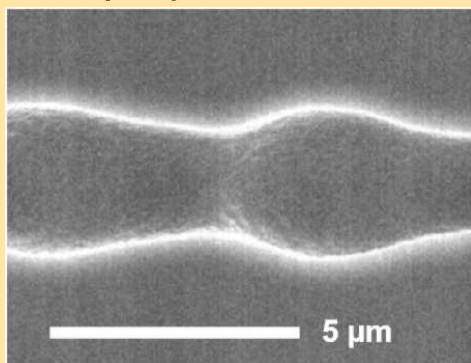
Napětí skáče mezi  $\pm 1 \text{ mV}$ , frekvence 191 Hz

# Technické realizace

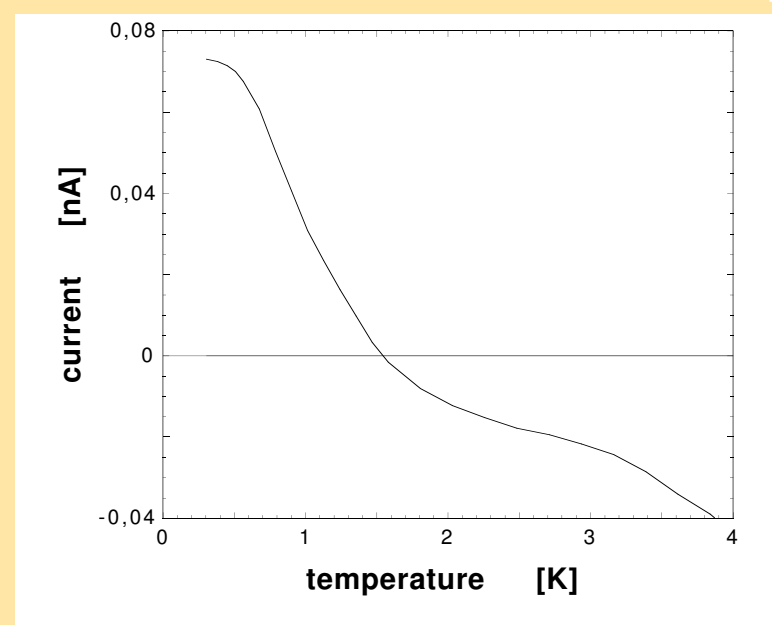
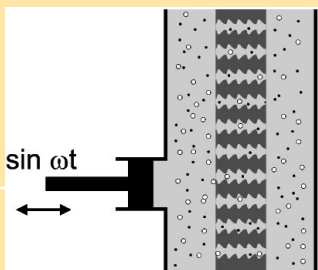


Heterostruktura na bázi GaAs/AlGaAs.

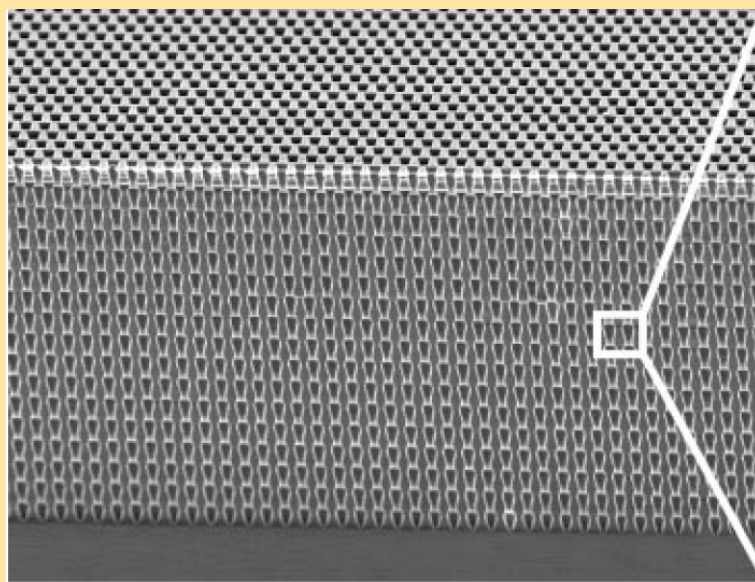
Perioda  $L \simeq 1.2 \mu\text{m}$ .  
nanopóry v křemíku



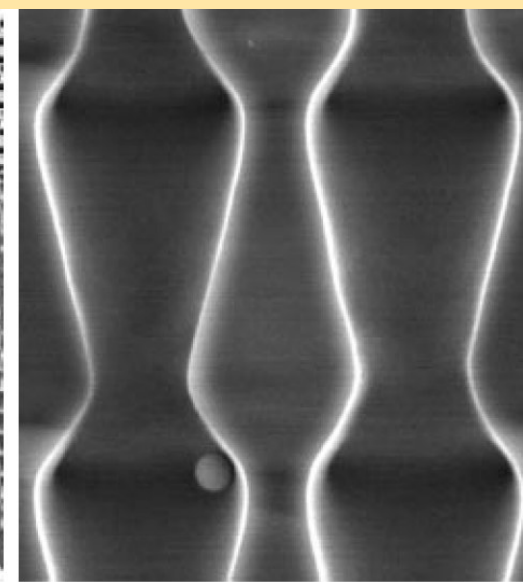
nanočásticové sítko



Napětí skáče mezi  $\pm 1 \text{ mV}$ , frekvence 191 Hz



100  $\mu\text{m}$

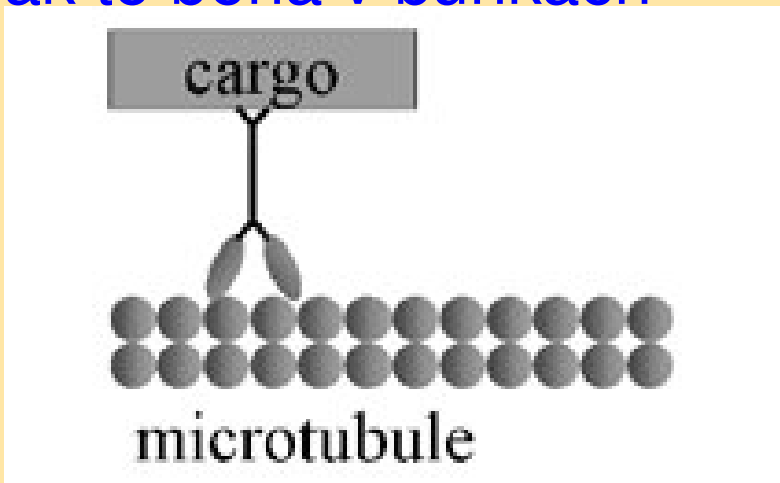


6  $\mu\text{m}$

[Sven Matthias and Frank Müller, Nature 424, 53 (2003)]



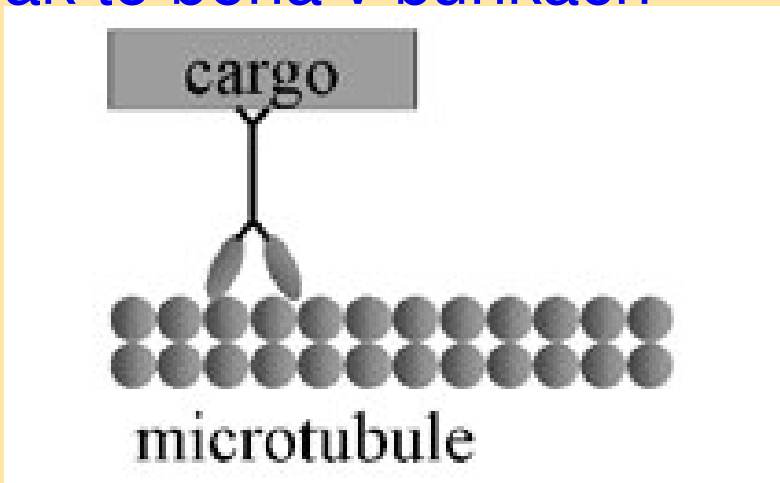
# Jak to běhá v buňkách



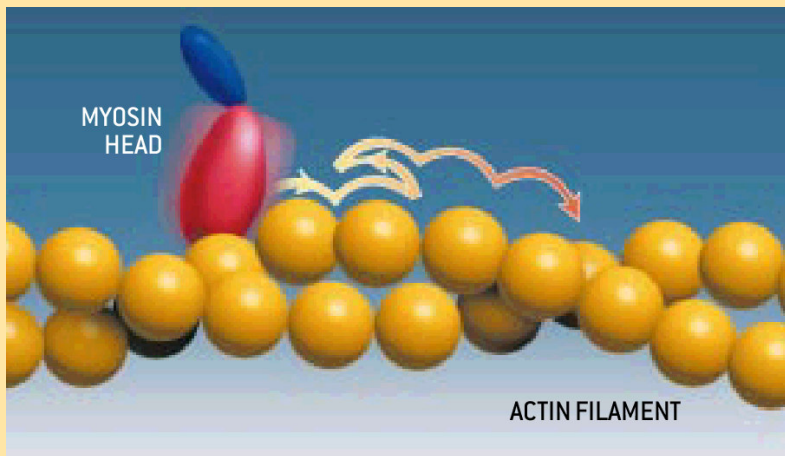
Kinesin přepravuje váčky



# Jak to běhá v buňkách



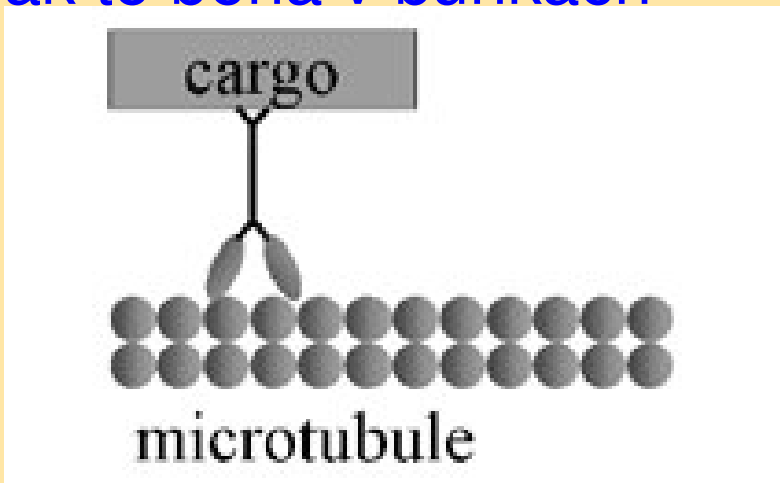
Kinesin přepravuje váčky



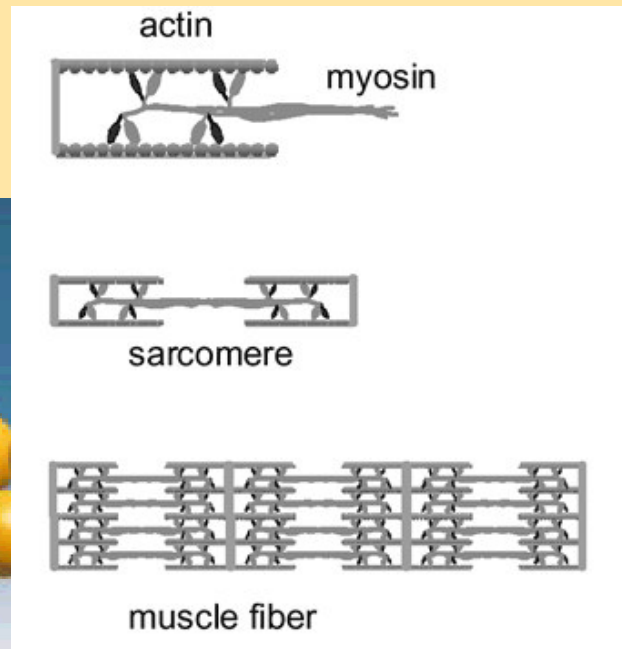
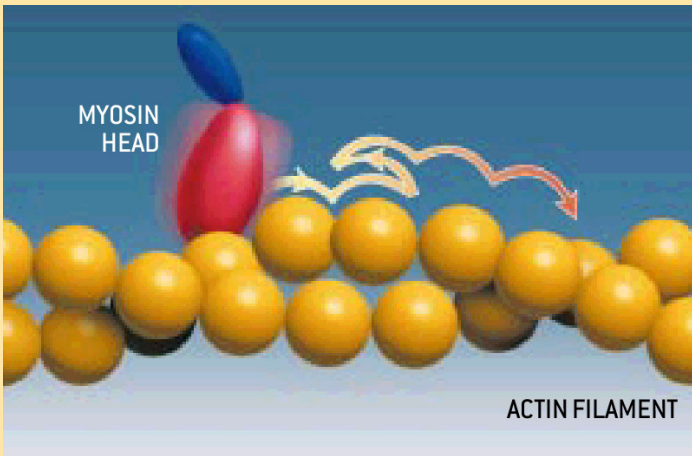
Myosin tahá za svalová vlákna



# Jak to běhá v buňkách



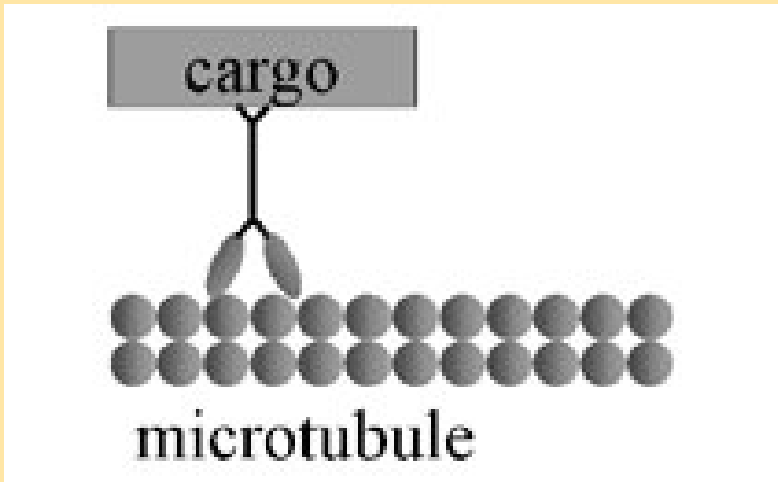
Kinesin přepravuje váčky



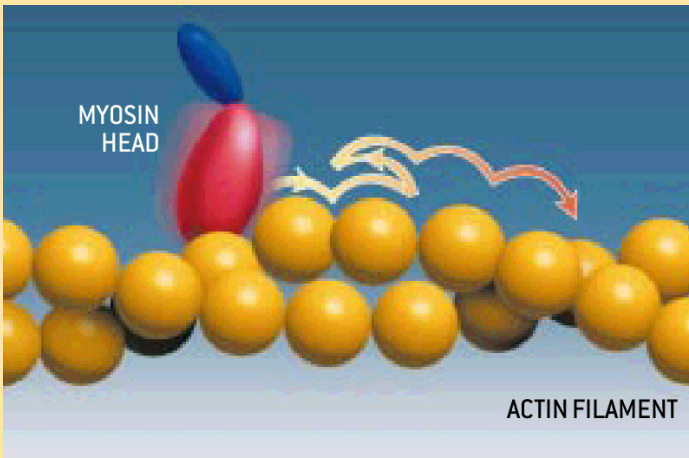
Myosin tahá za svalová vlákna



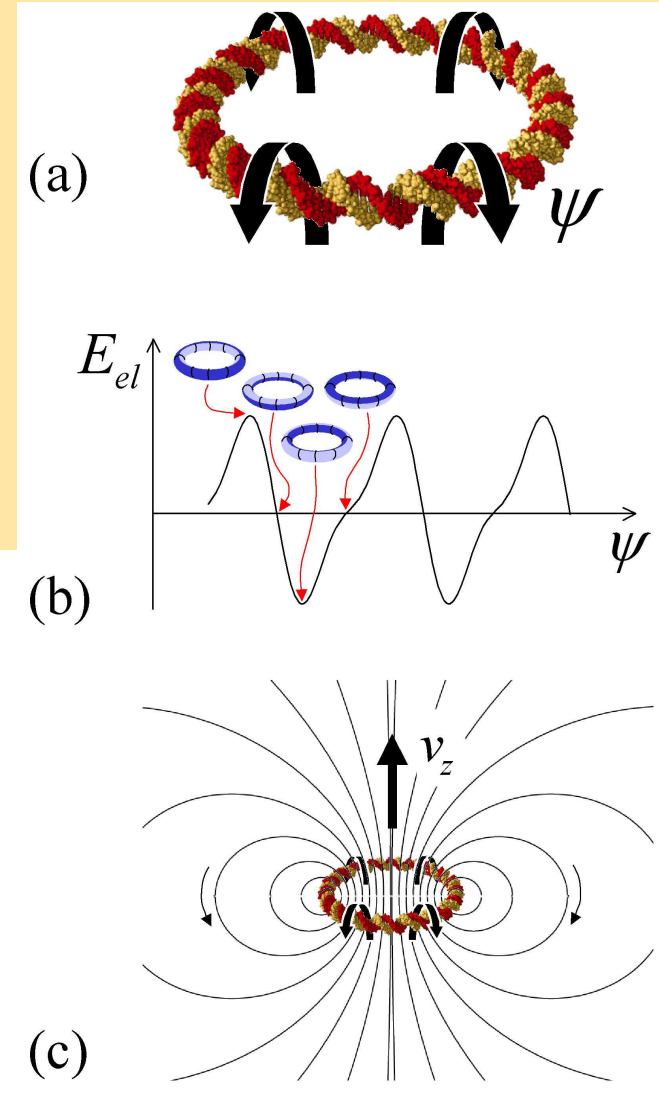
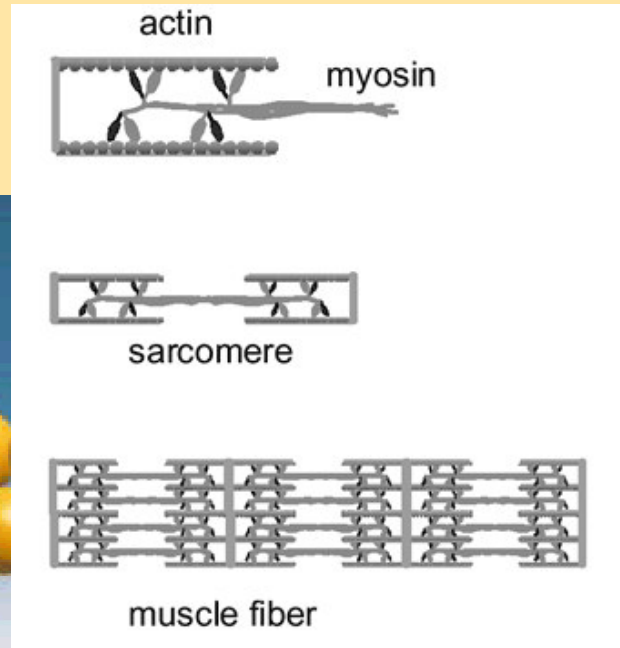
# Jak to běhá v buňkách



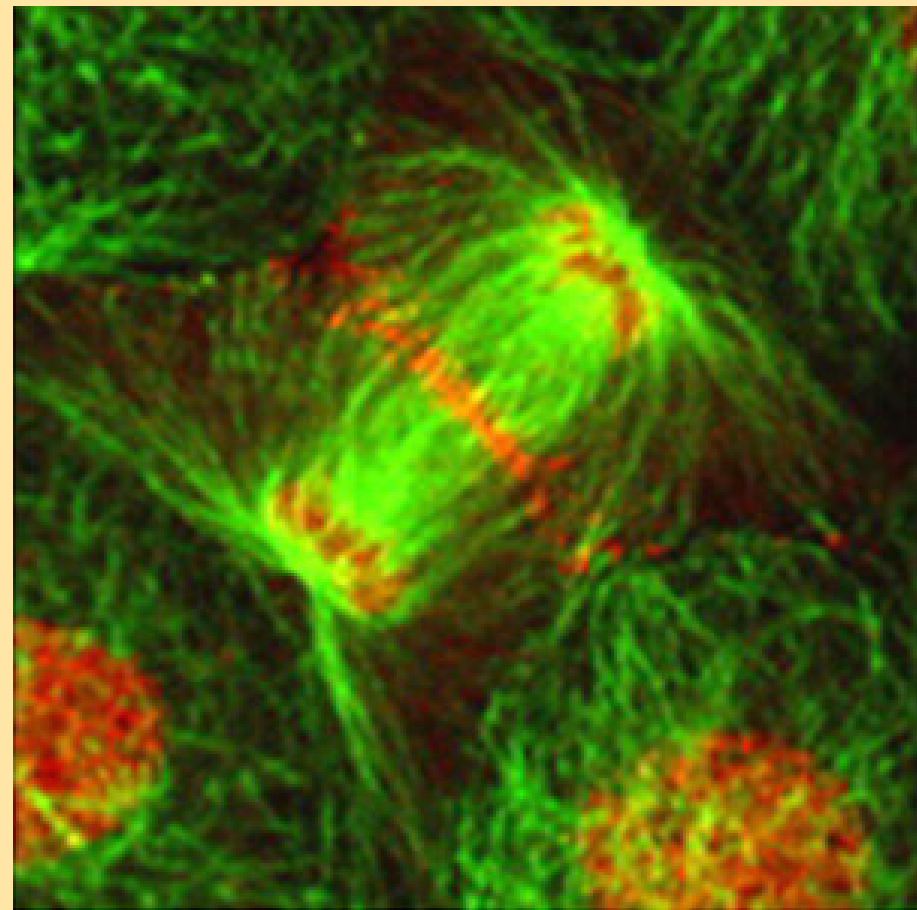
Kinesin přepravuje váčky



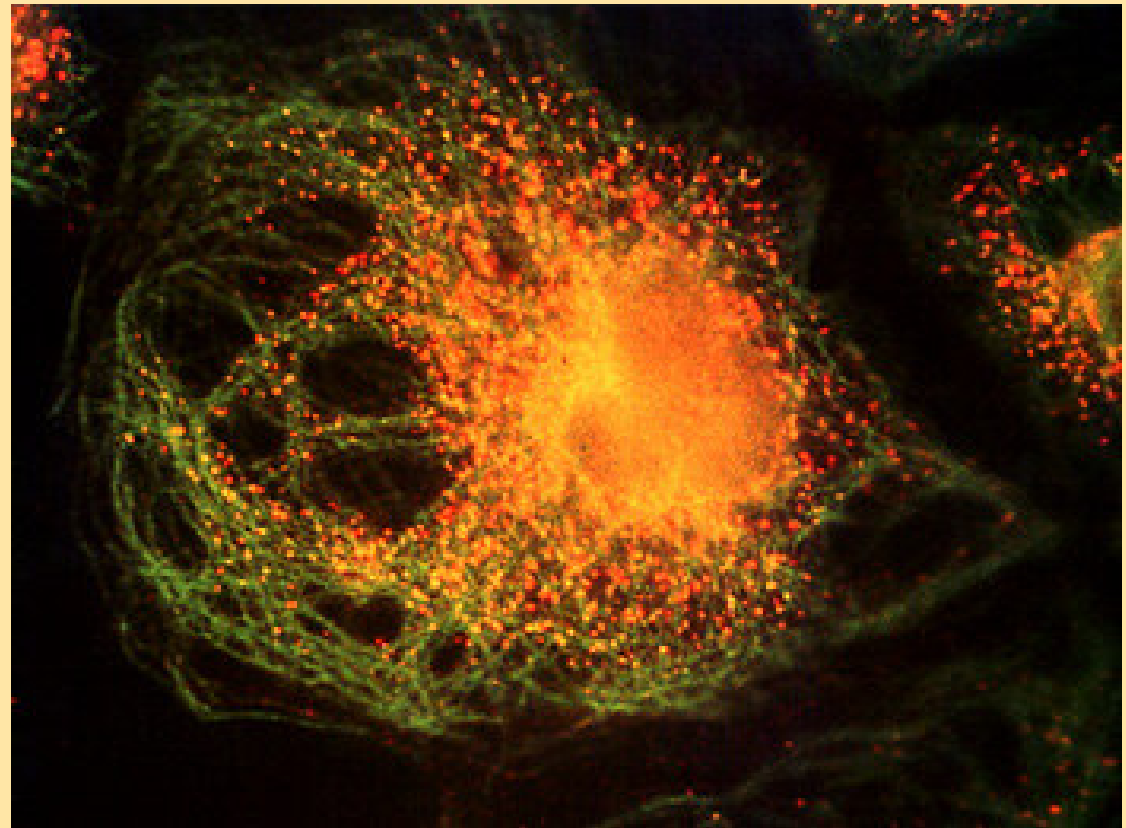
Myosin tahá za svalová vlákna





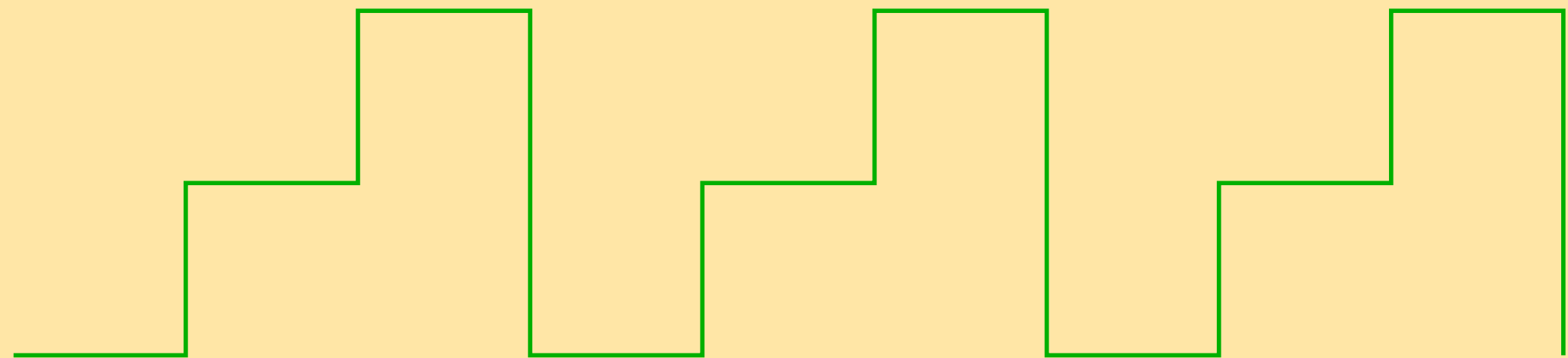


Kinesin připojený ke chromozomům.  
Kinesin červeně, mikrotubuly zeleně

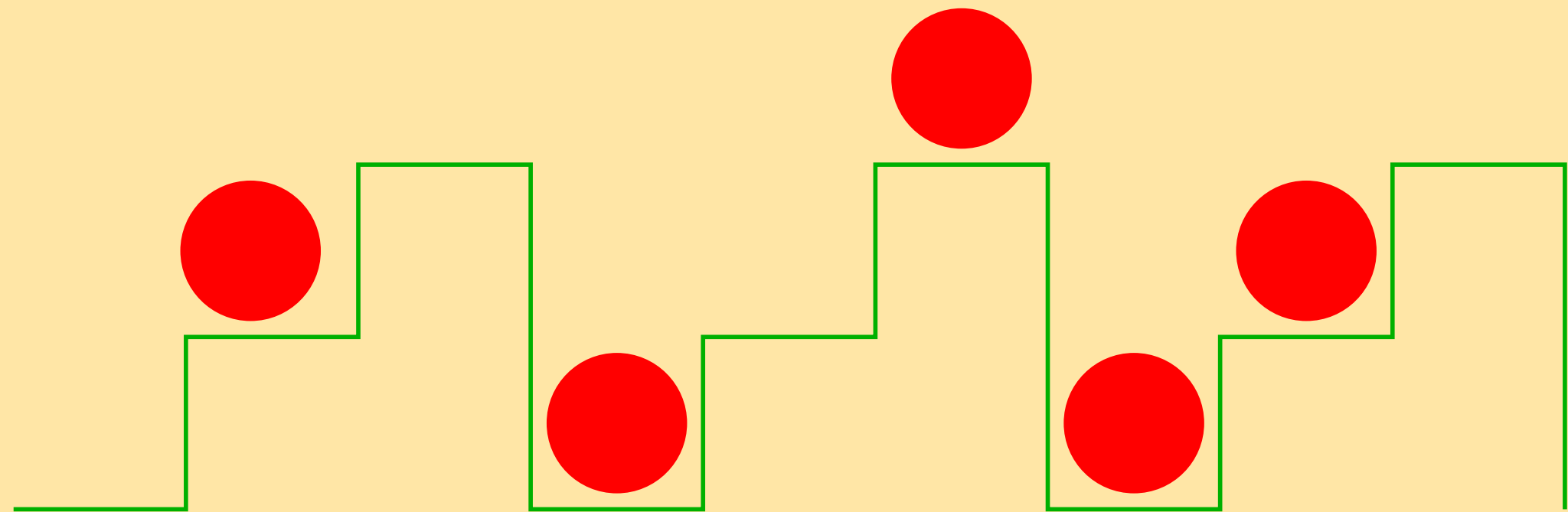


Kinesin pohybuje membránou.  
Mikrotubuly zeleně, Xklp1 červeně.

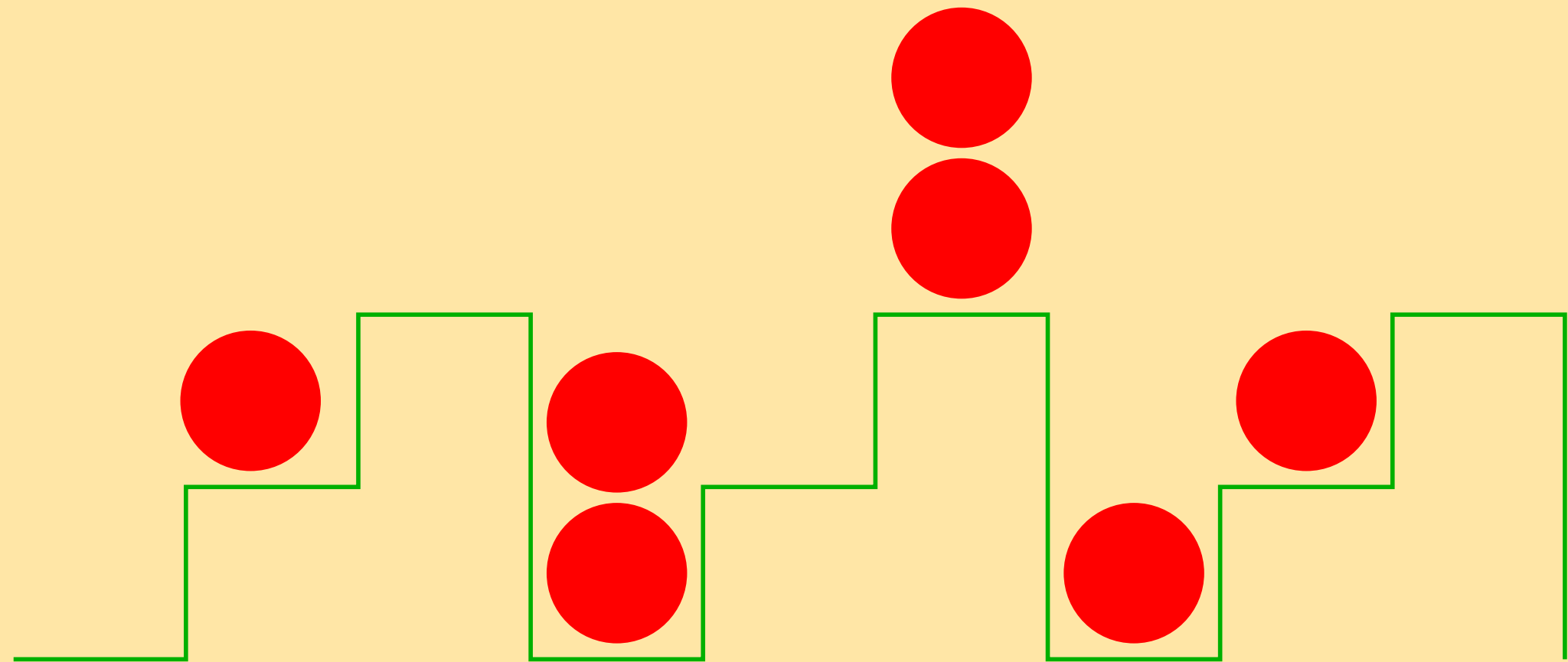
# Model: kolébací rohátka s tuhými částicemi



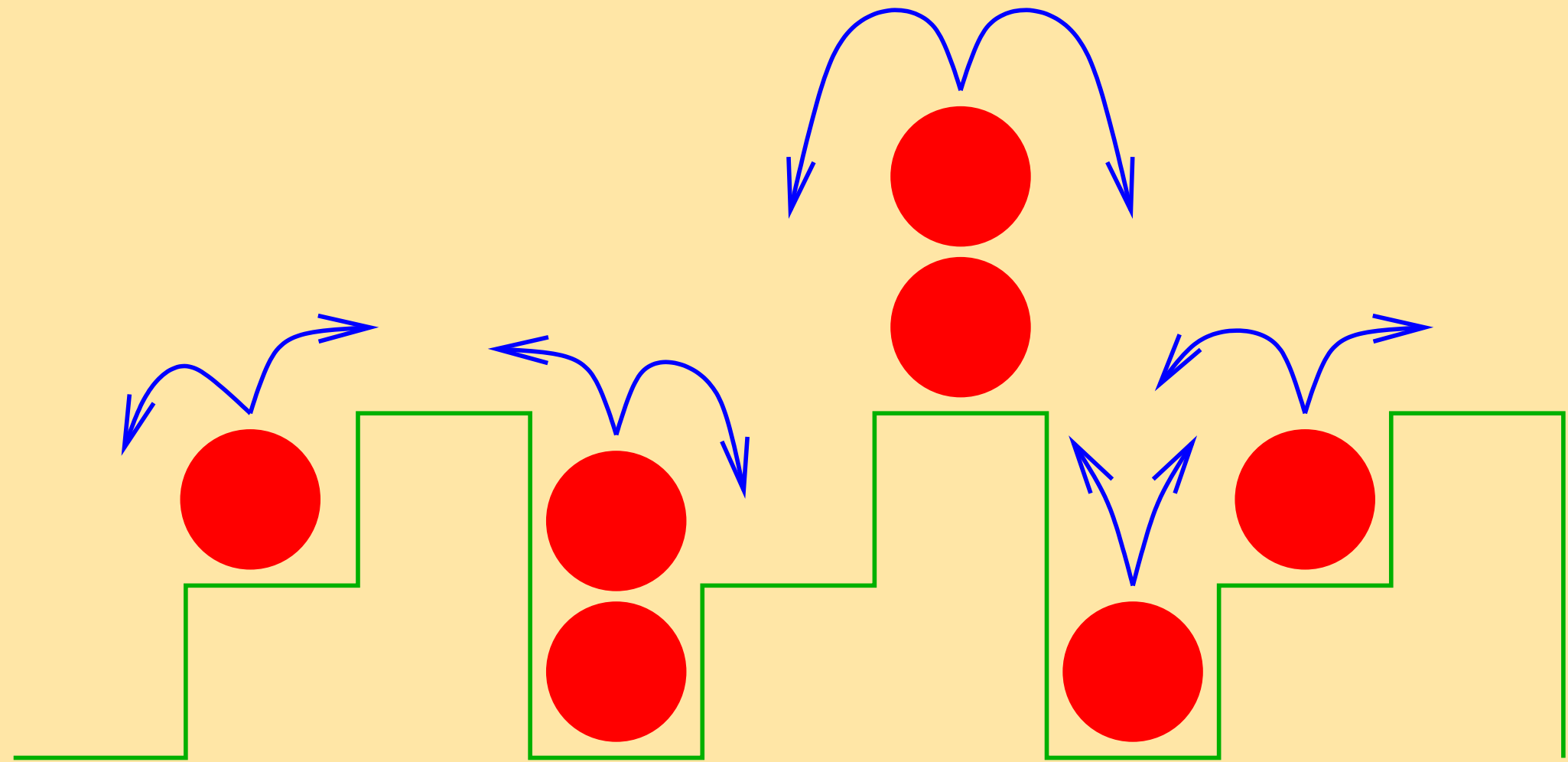
# Model: kolébací rohátka s tuhými částicemi



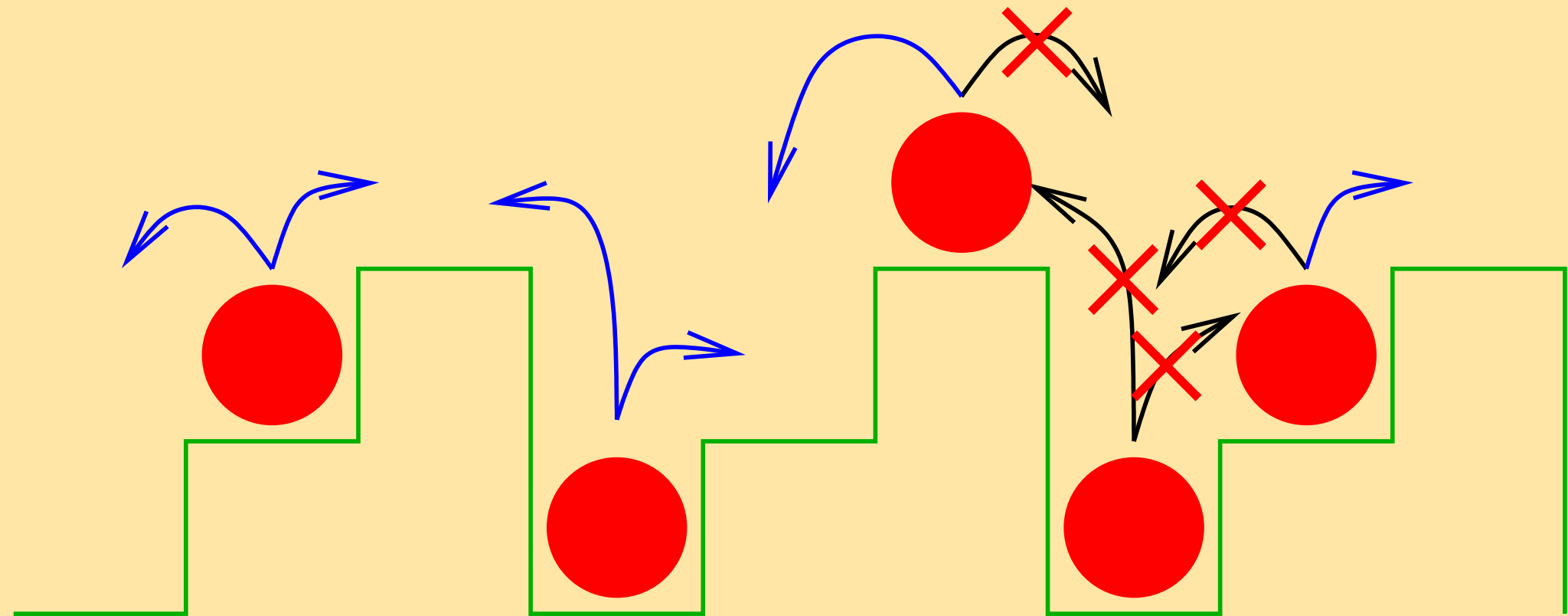
# Model: kolébací rohátka s tuhými částicemi

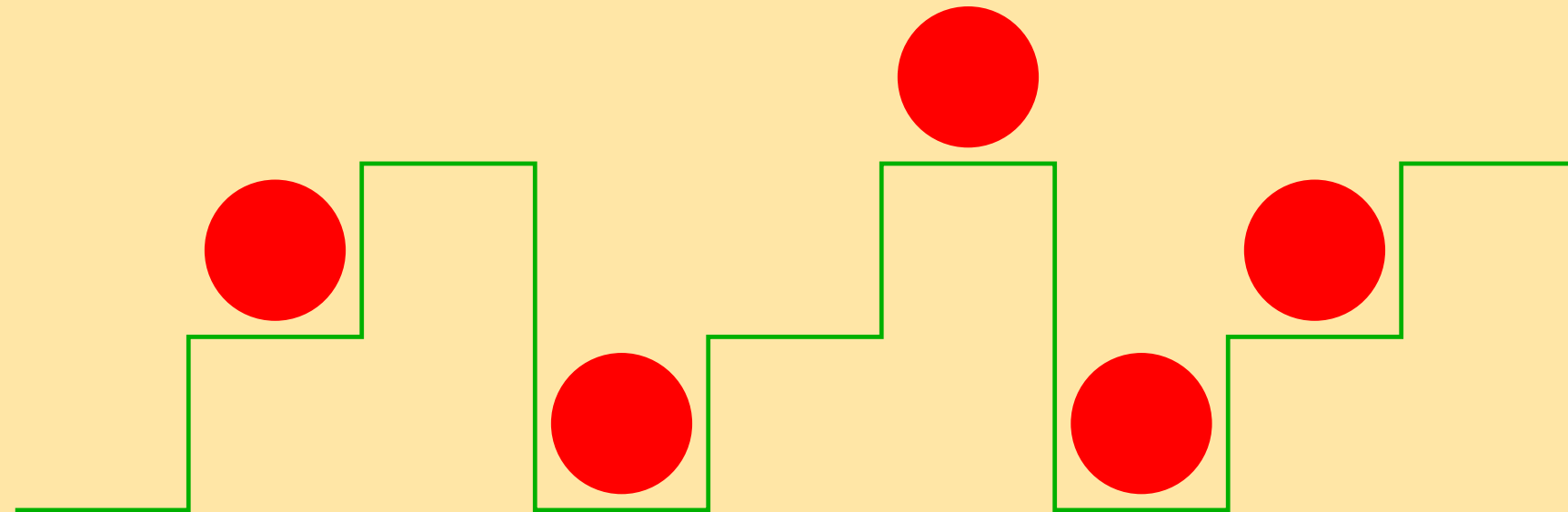


# Model: kolébací rohátka s tuhými částicemi



# Model: kolébací rohátka s tuhými částicemi



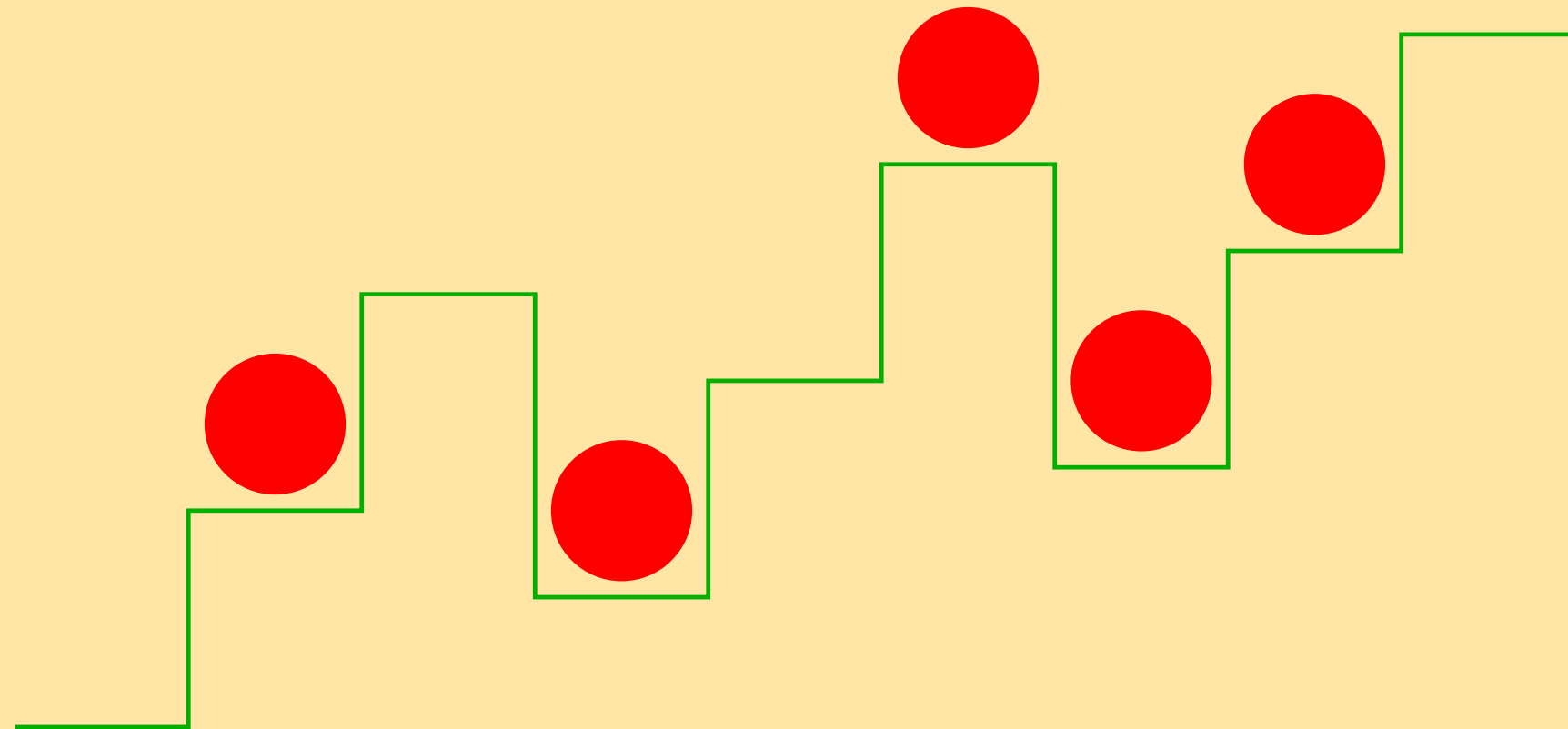


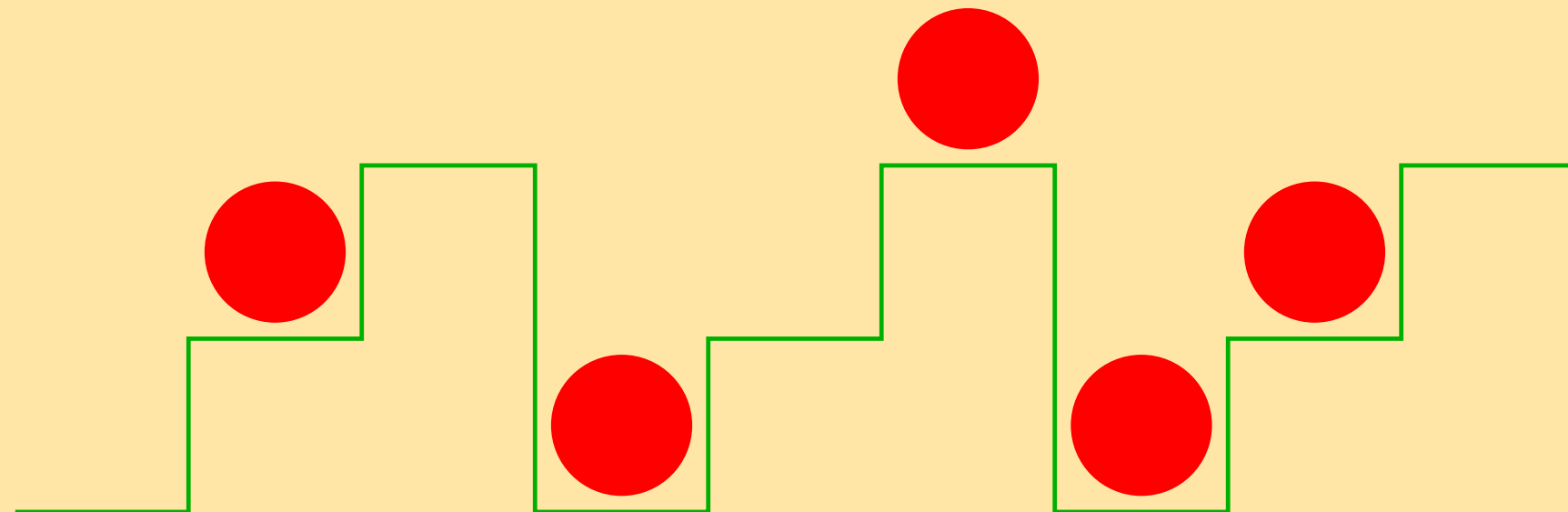


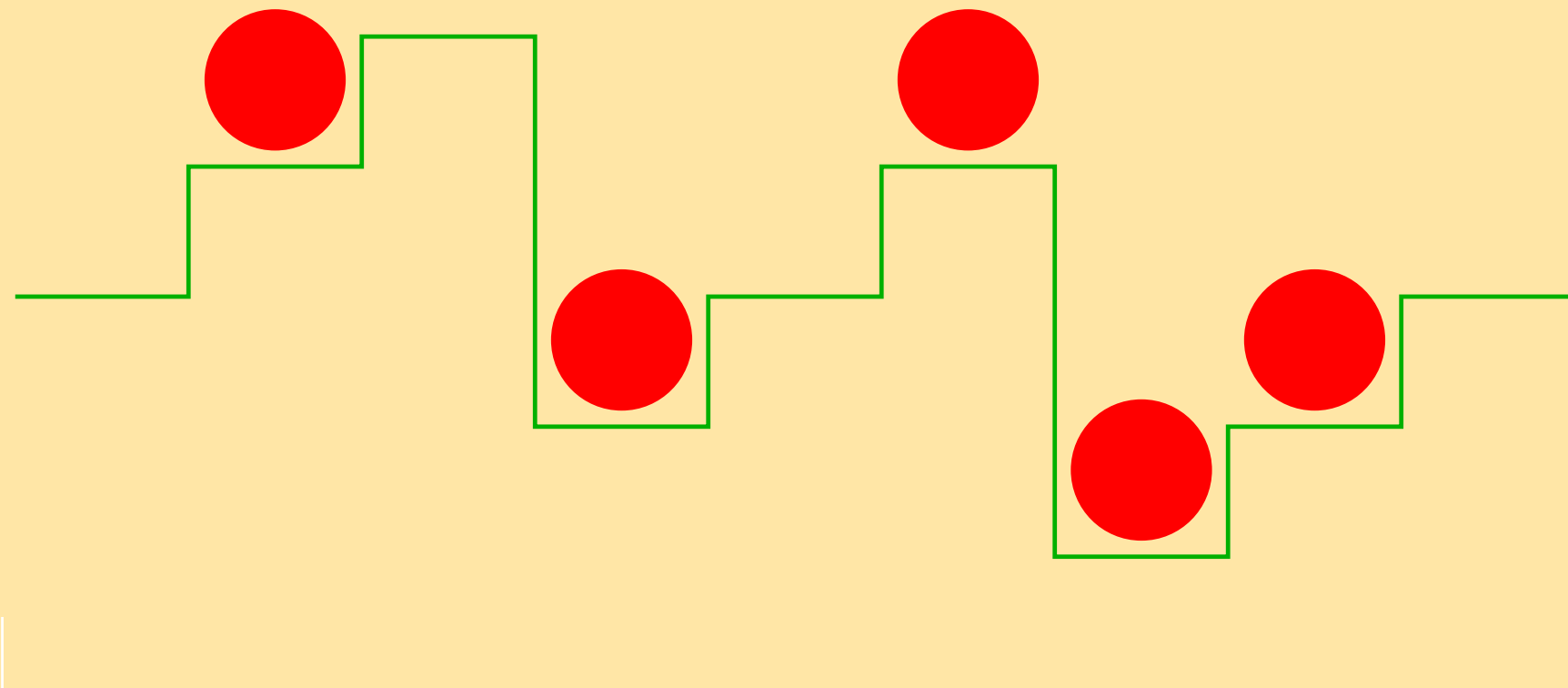
# Kolébání

Spust' simulaci

detaily pro zájemce

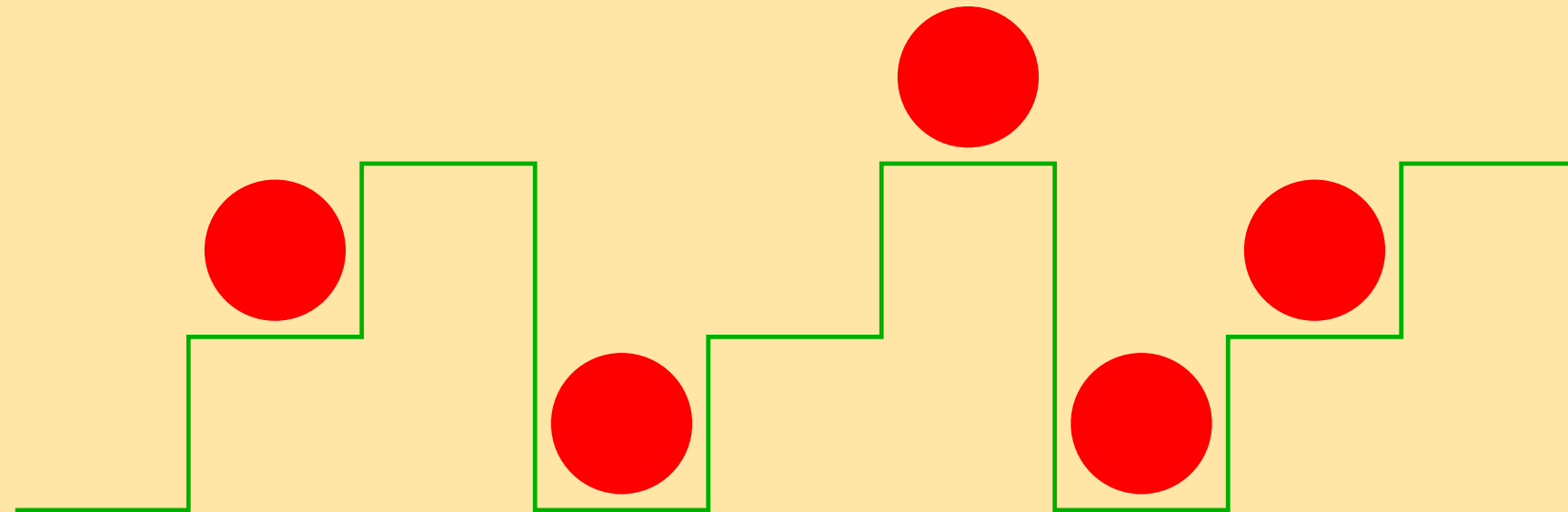






Spust' simulaci

detaily pro zájemce

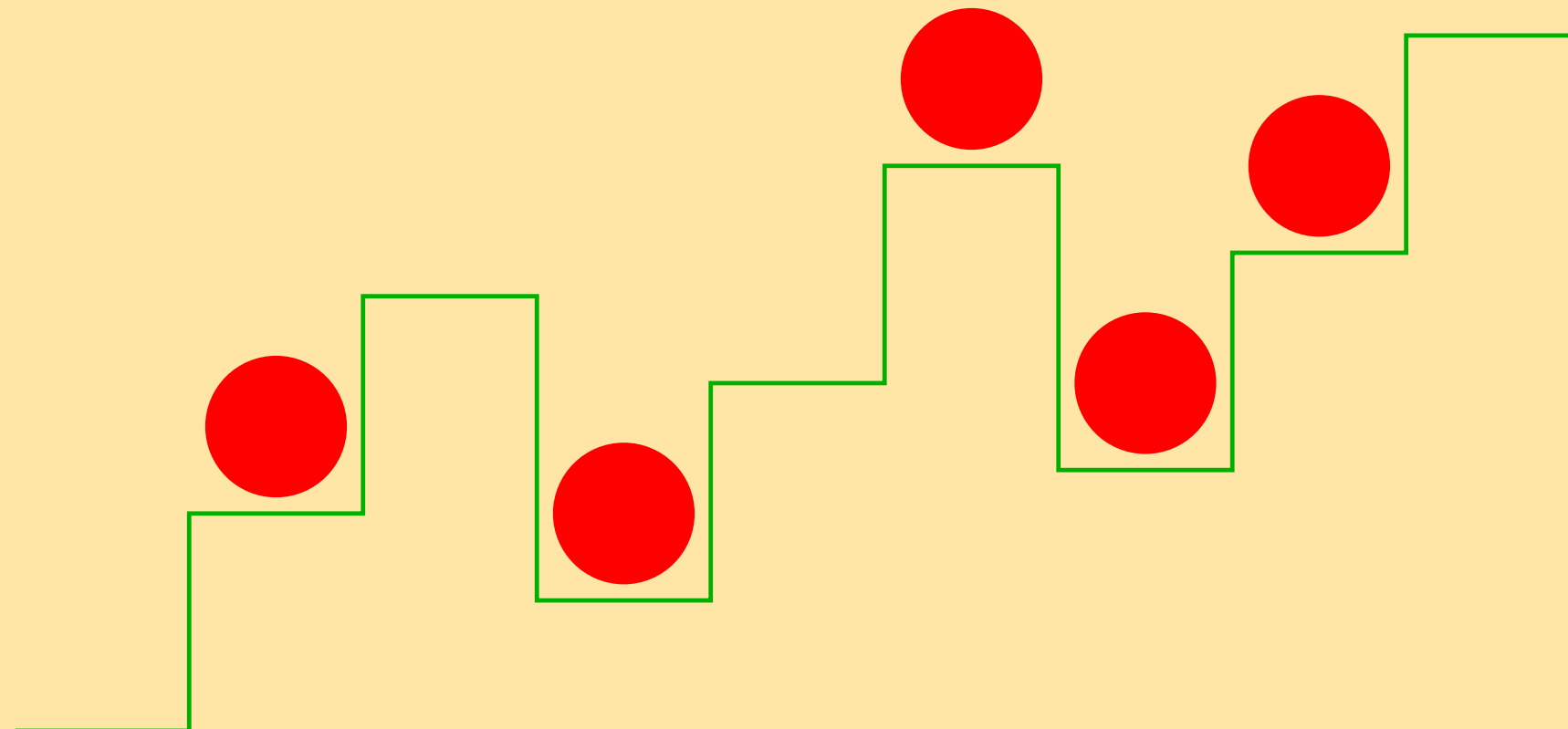




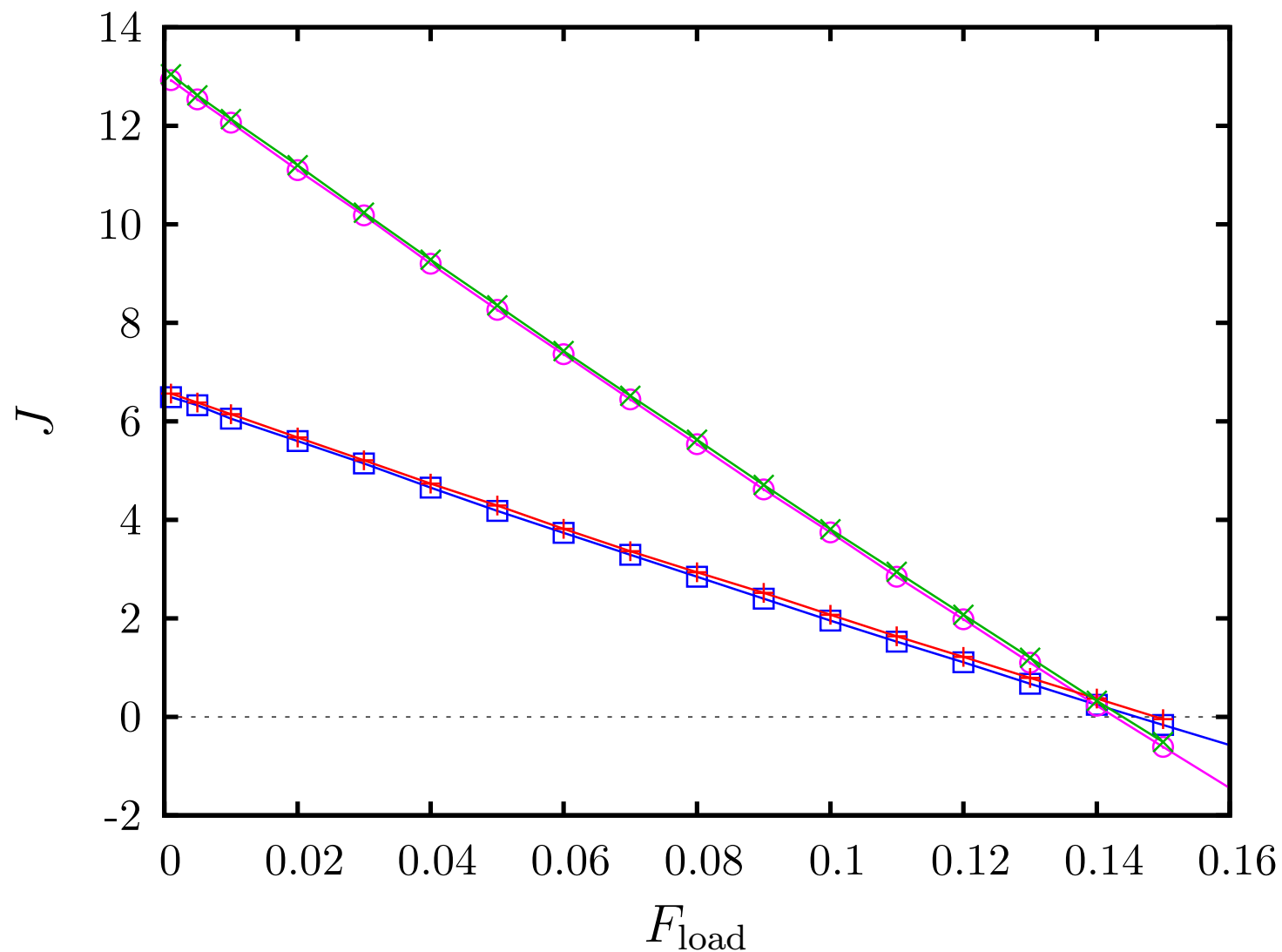
# Kolébání

Spust' simulaci

detaily pro zájemce



# Výsledky: jak závisí proud na zatížení

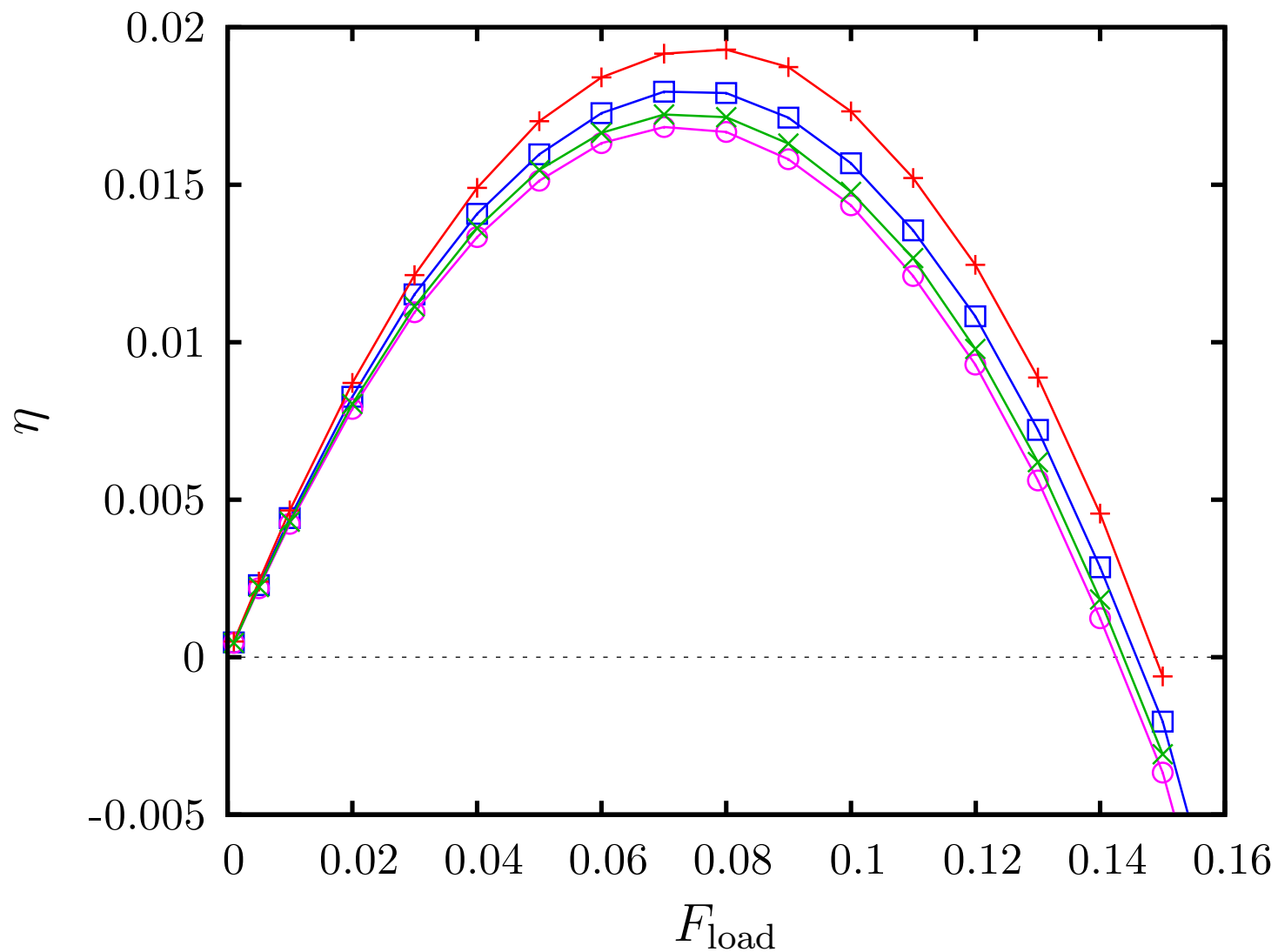


Parametry:  $L = 1000, \alpha = 0.5, T = 150, F_0 = 0.9$ .

a dále:  $+ \omega = 0.01, g = 1$ ;  $\times \omega = 0.01, g = 0$ ;  $\square \omega = 0.1, g = 1$ ;  $\circ \omega = 0.1, g = 0$ .



# Jak závisí účinnost na zátěži

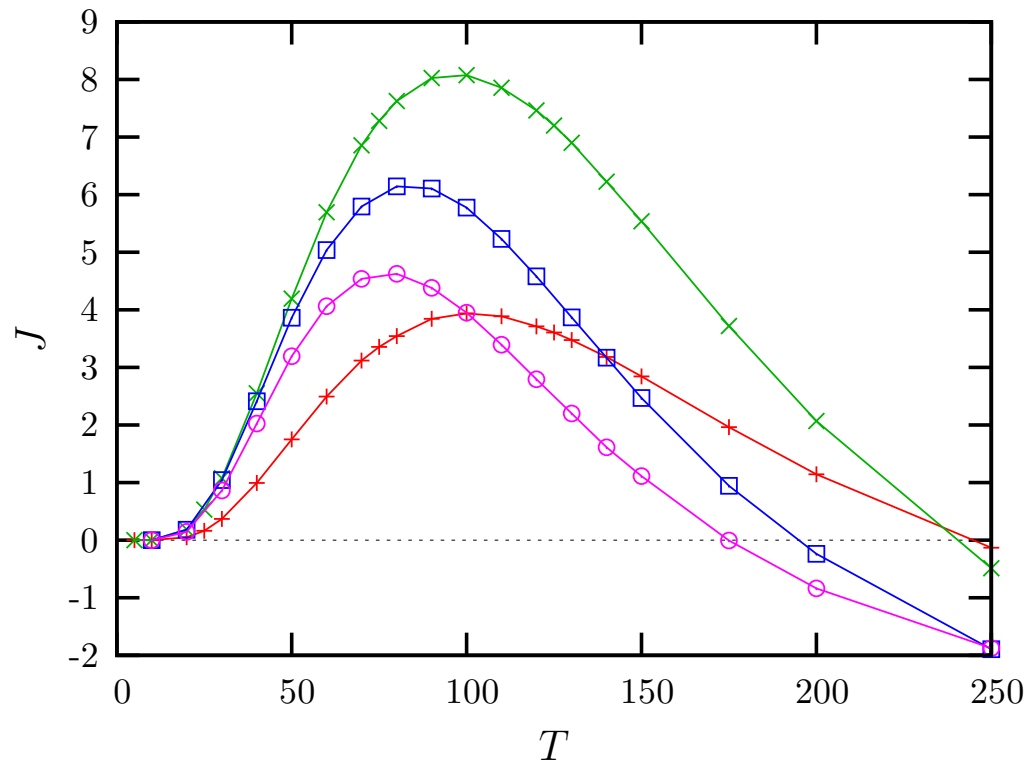


Parametry:  $L = 1000$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $T = 150$ ,  $F_0 = 0.9$ .

a dále: +  $\omega = 0.01$ ,  $g = 1$ ; x  $\omega = 0.01$ ,  $g = 0$ ; □  $\omega = 0.1$ ,  $g = 1$ ; ○  $\omega = 0.1$ ,  $g = 0$ .



# Jak to závisí na teplotě



Proud

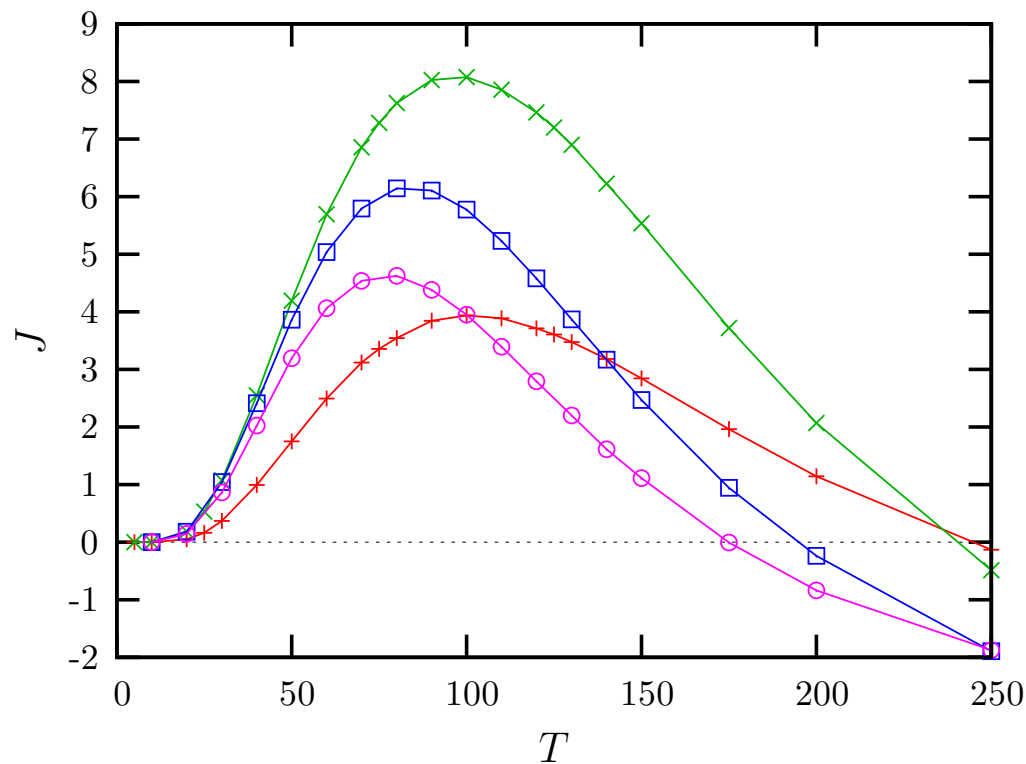
Parametry:  $L = 1000$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $F_0 = 0.9$ ,  $\omega = 0.1$ ,  $F_{\text{load}} = 0.08$ .

a dále:  $+$   $g = 1$ ;  $\times$   $g = 0$ ;  $\square$   $g = 0.5$ ;  $\odot$   $g = 0.75$ .

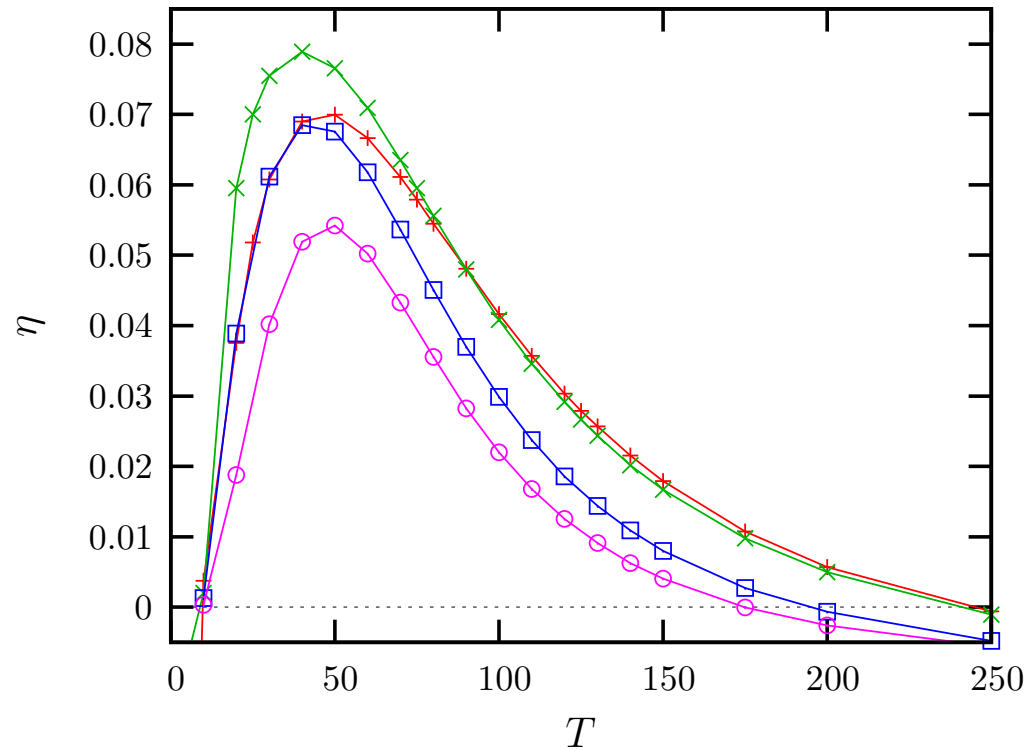




# Jak to závisí na teplotě



Proud



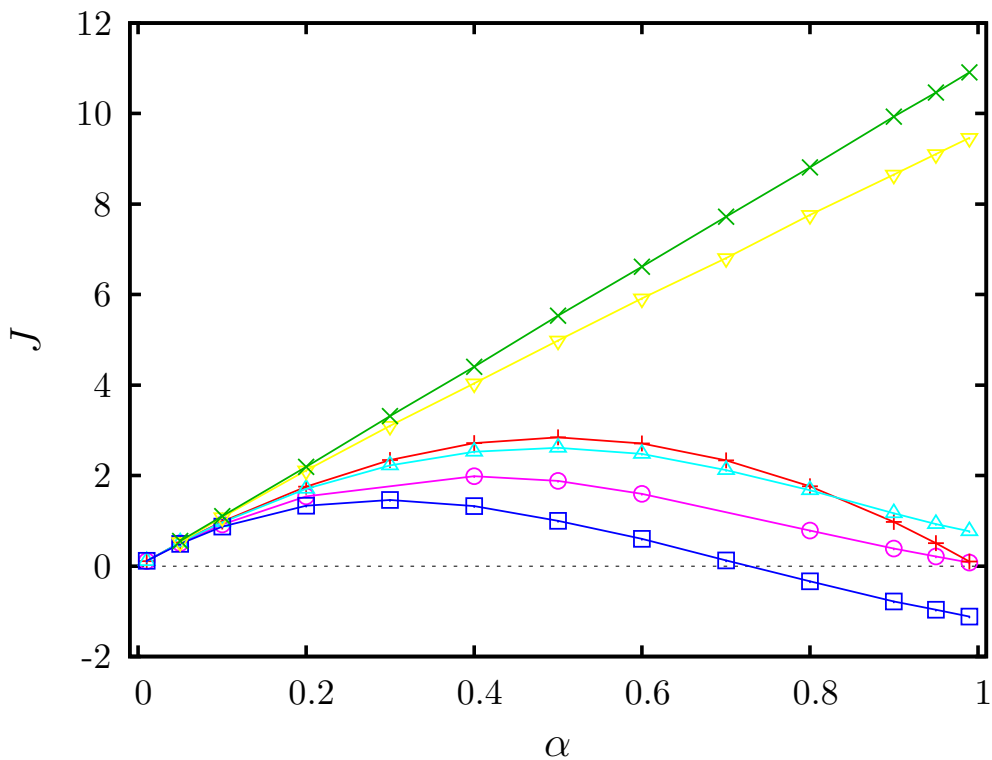
Účinnost

Parametry:  $L = 1000$ ,  $\alpha = 0.5$ ,  $F_0 = 0.9$ ,  $\omega = 0.1$ ,  $F_{\text{load}} = 0.08$ .

a dále:  $+$   $g = 1$ ;  $\times$   $g = 0$ ;  $\square$   $g = 0.5$ ;  $\odot$   $g = 0.75$ .



# Jak to závisí na hustotě částic



Proud

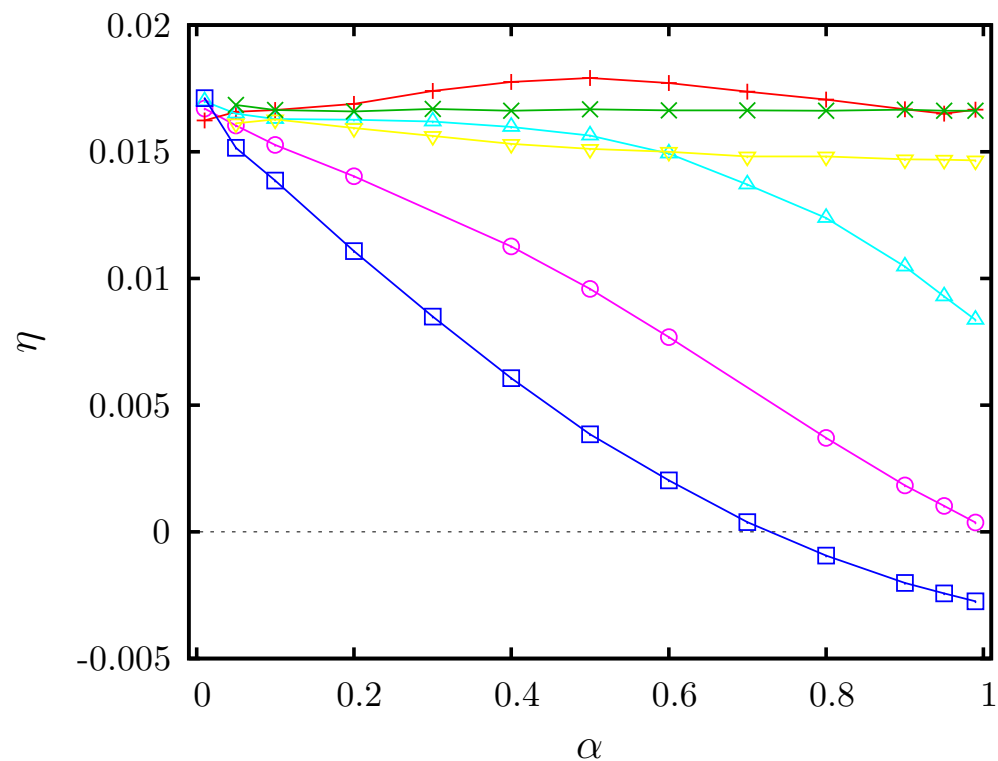
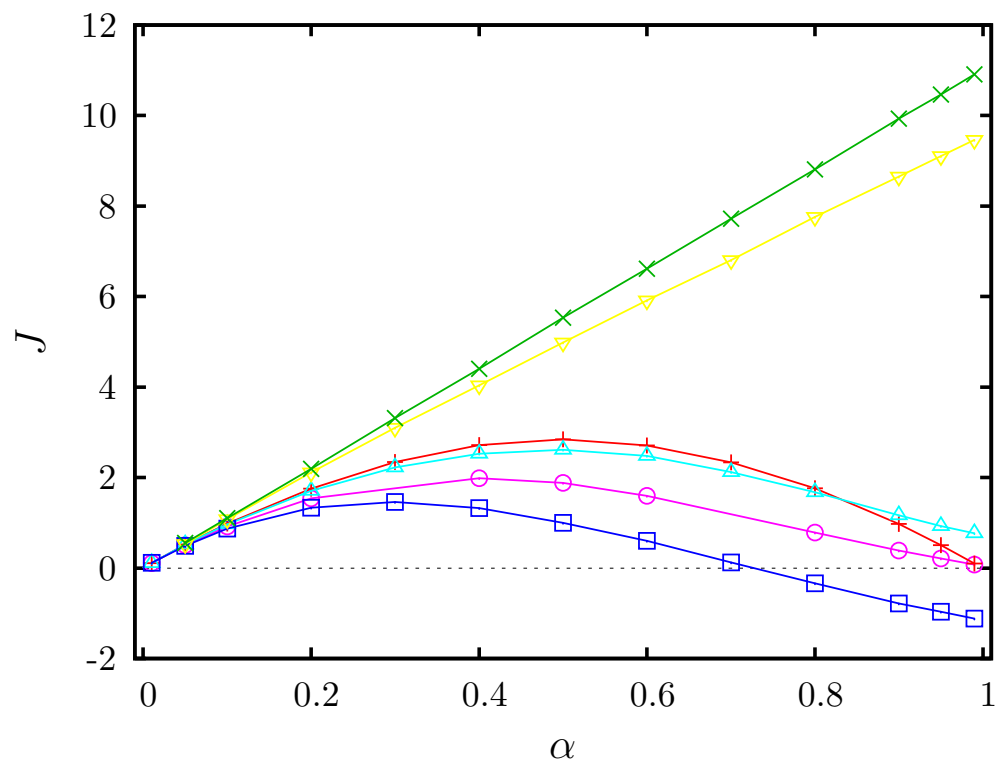
Parametry:  $L = 1000$ ,  $F_0 = 0.9$ ,  $\omega = 0.1$ ,  $T = 150$ ,  $F_{\text{load}} = 0.08$ .

a dále:  $\times$   $g = 0$ ;  $\nabla$   $g = 0.1$ ;  $\square$   $g = 0.8$ ;  $\odot$   $g = 0.95$ ;  $\triangle$   $g = 0.99$ ;

$+$   $g = 1$ ;



# Jak to závisí na hustotě částic



Proud

Účinnost

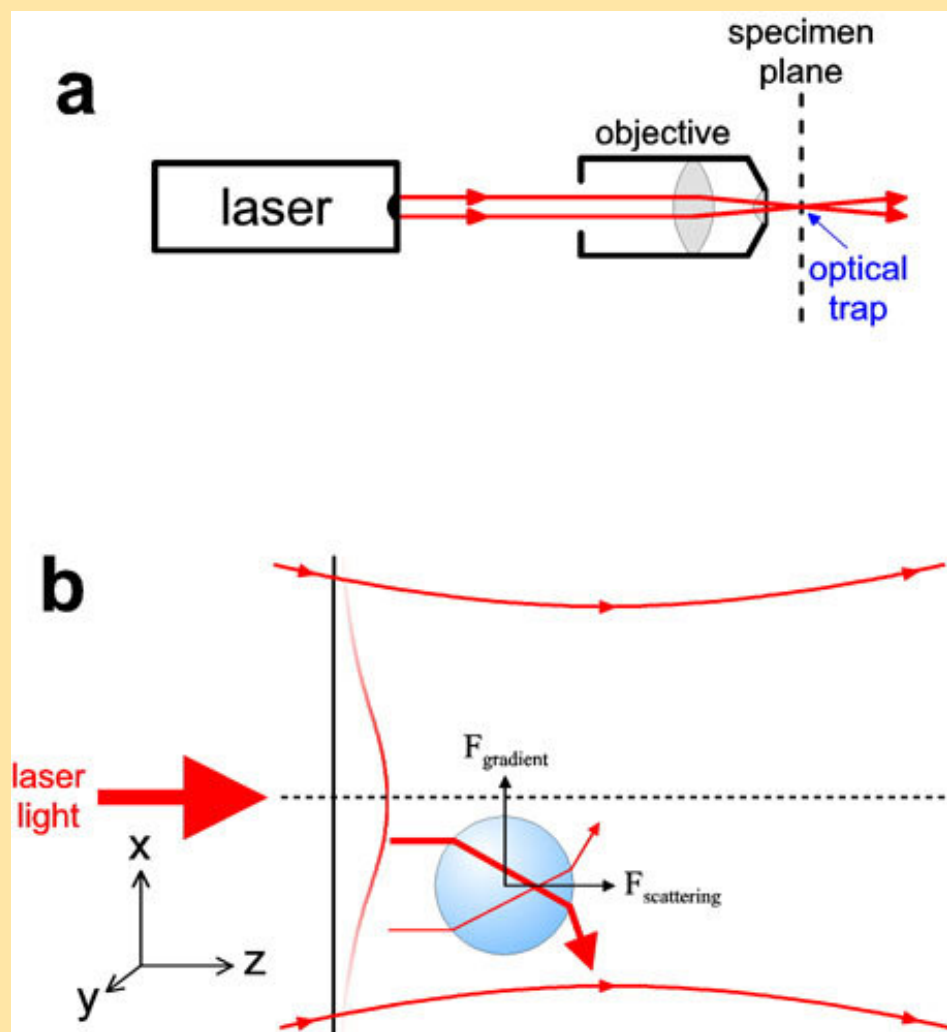
Parametry:  $L = 1000$ ,  $F_0 = 0.9$ ,  $\omega = 0.1$ ,  $T = 150$ ,  $F_{\text{load}} = 0.08$ .

a dále:  $\times$   $g = 0$ ;  $\nabla$   $g = 0.1$ ;  $\square$   $g = 0.8$ ;  $\odot$   $g = 0.95$ ;  $\triangle$   $g = 0.99$ ;

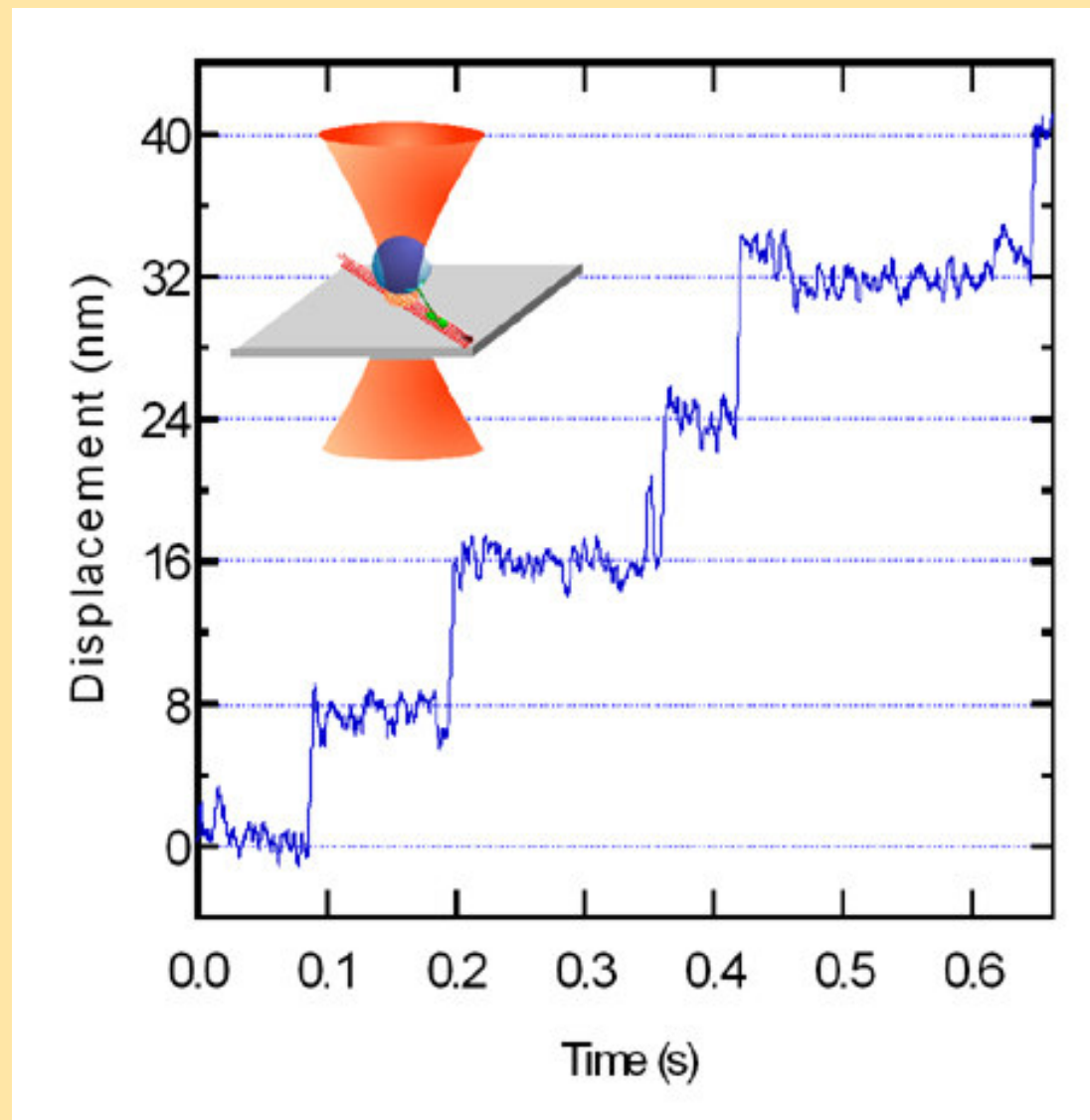
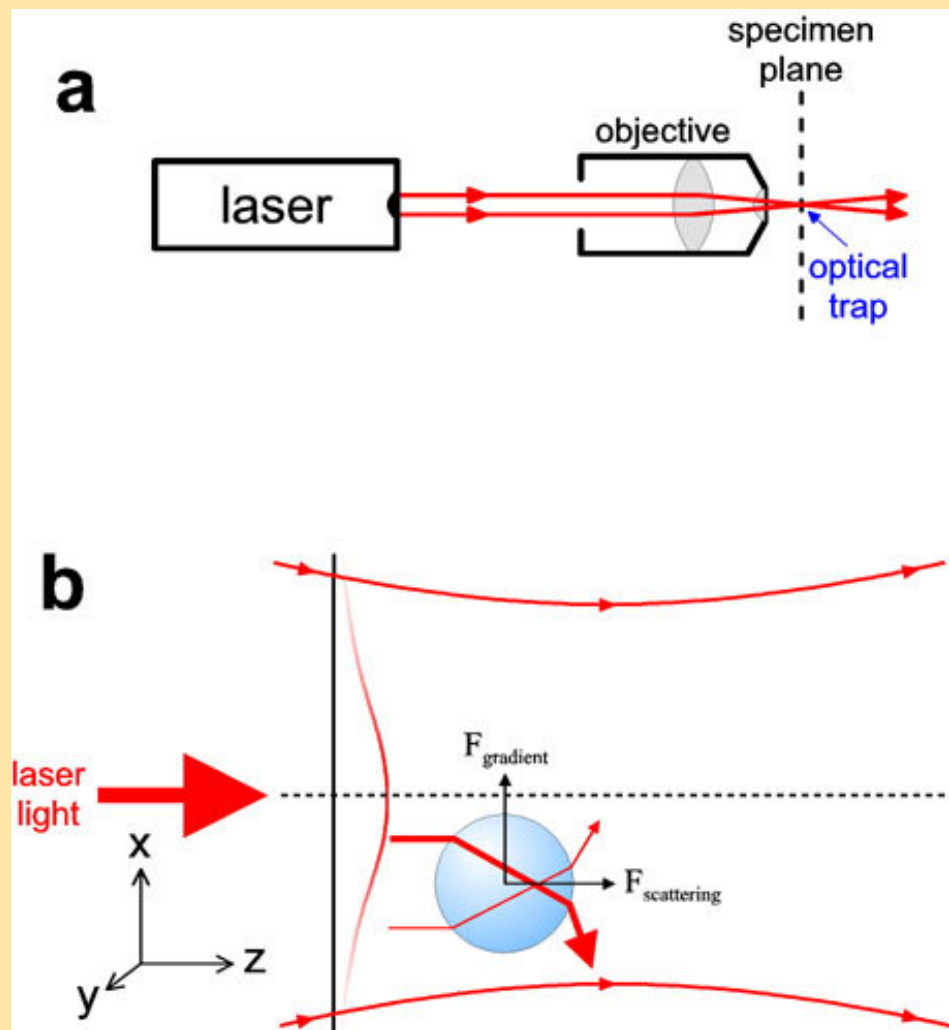
$+$   $g = 1$ ;



# Jak chytit DNA

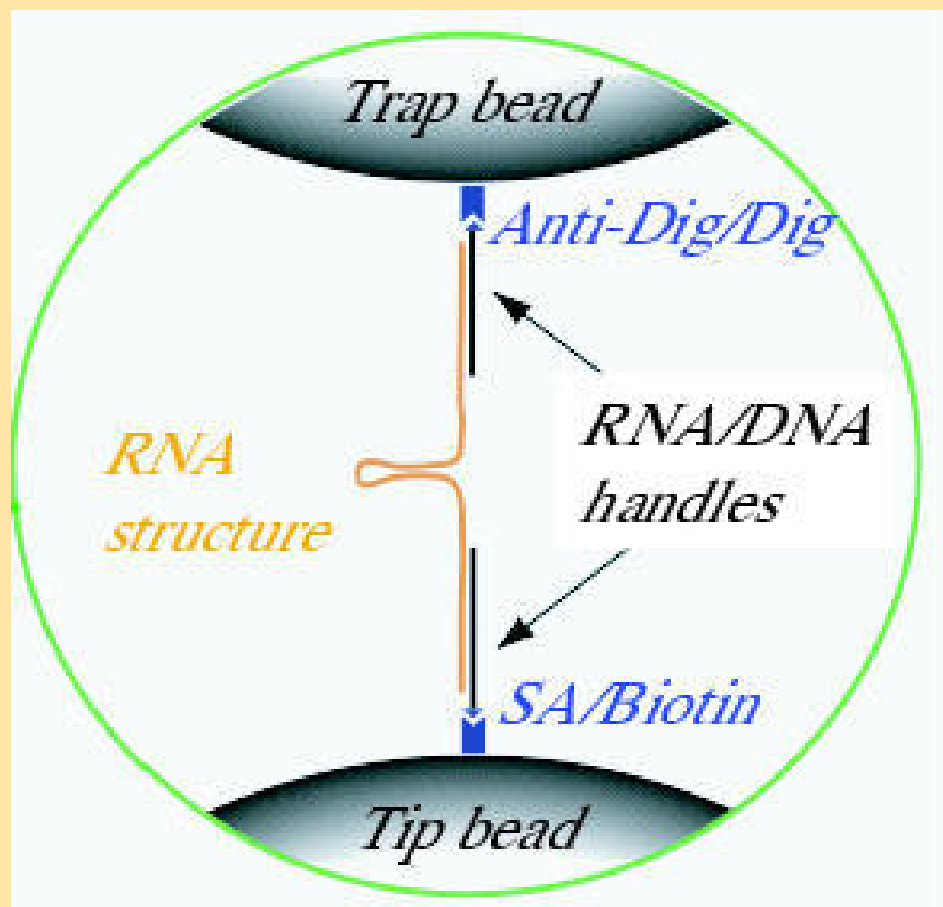


# Jak chytit DNA

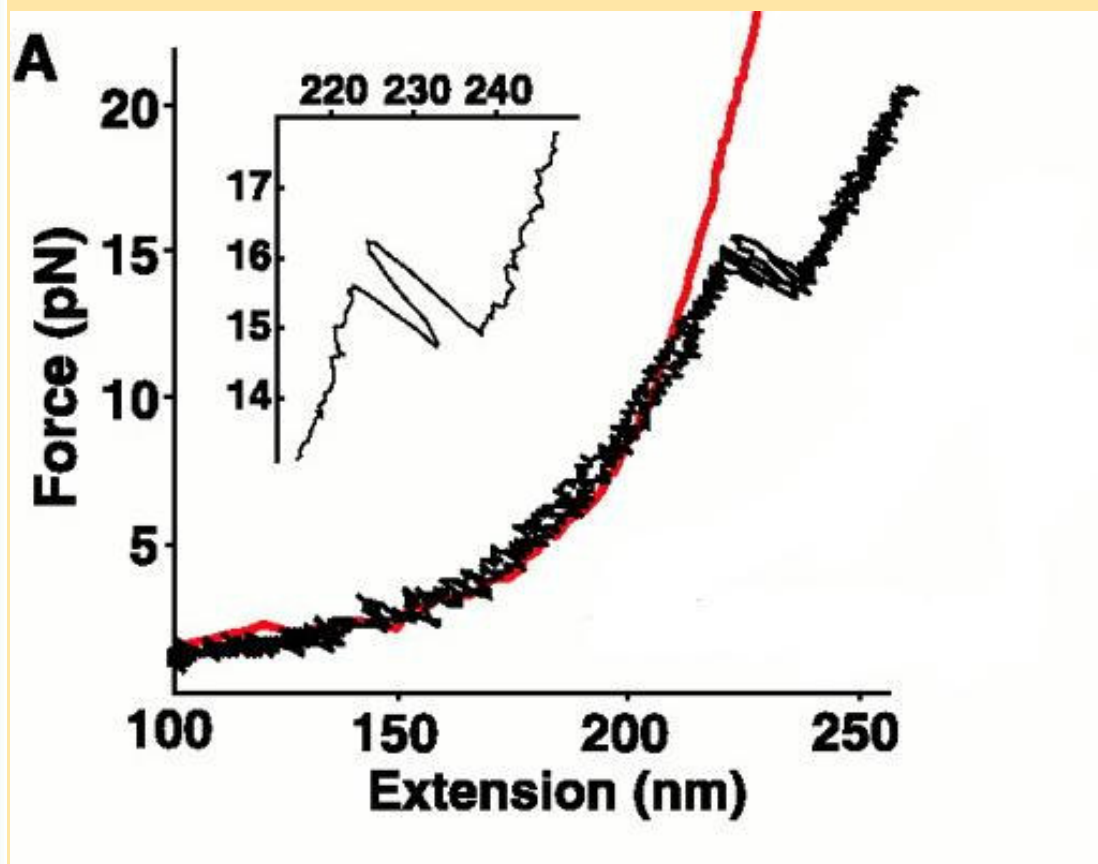
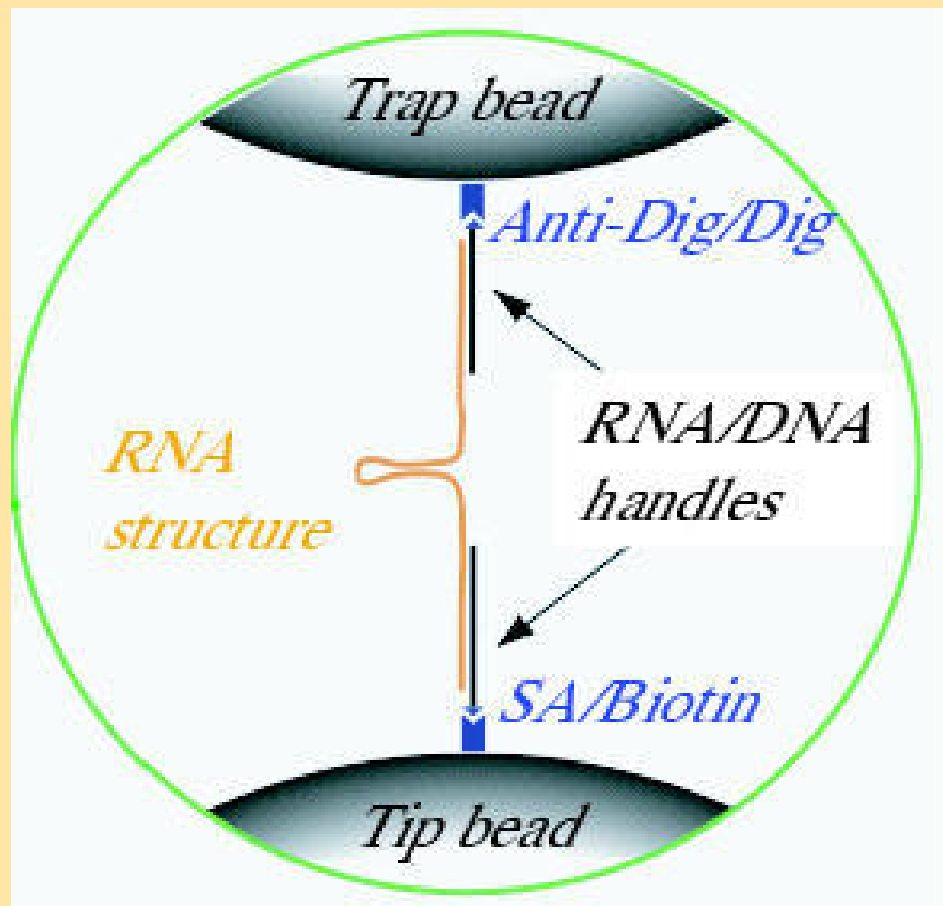




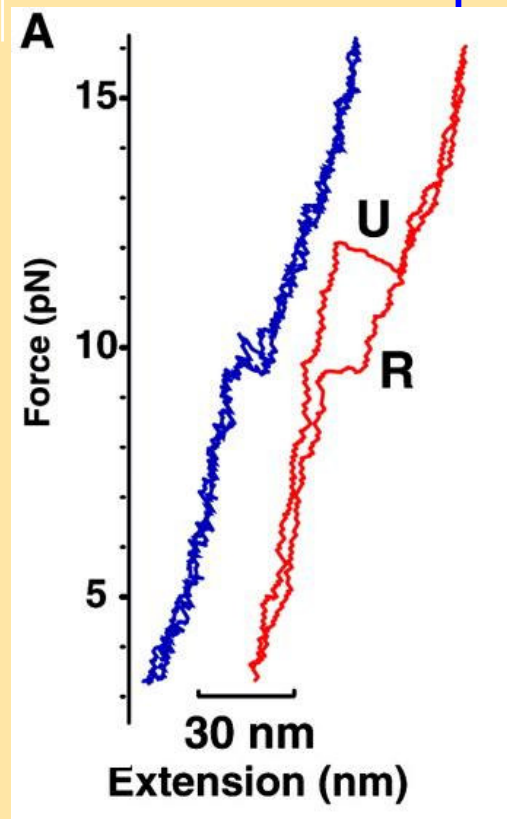
# Nejtenčí gumička



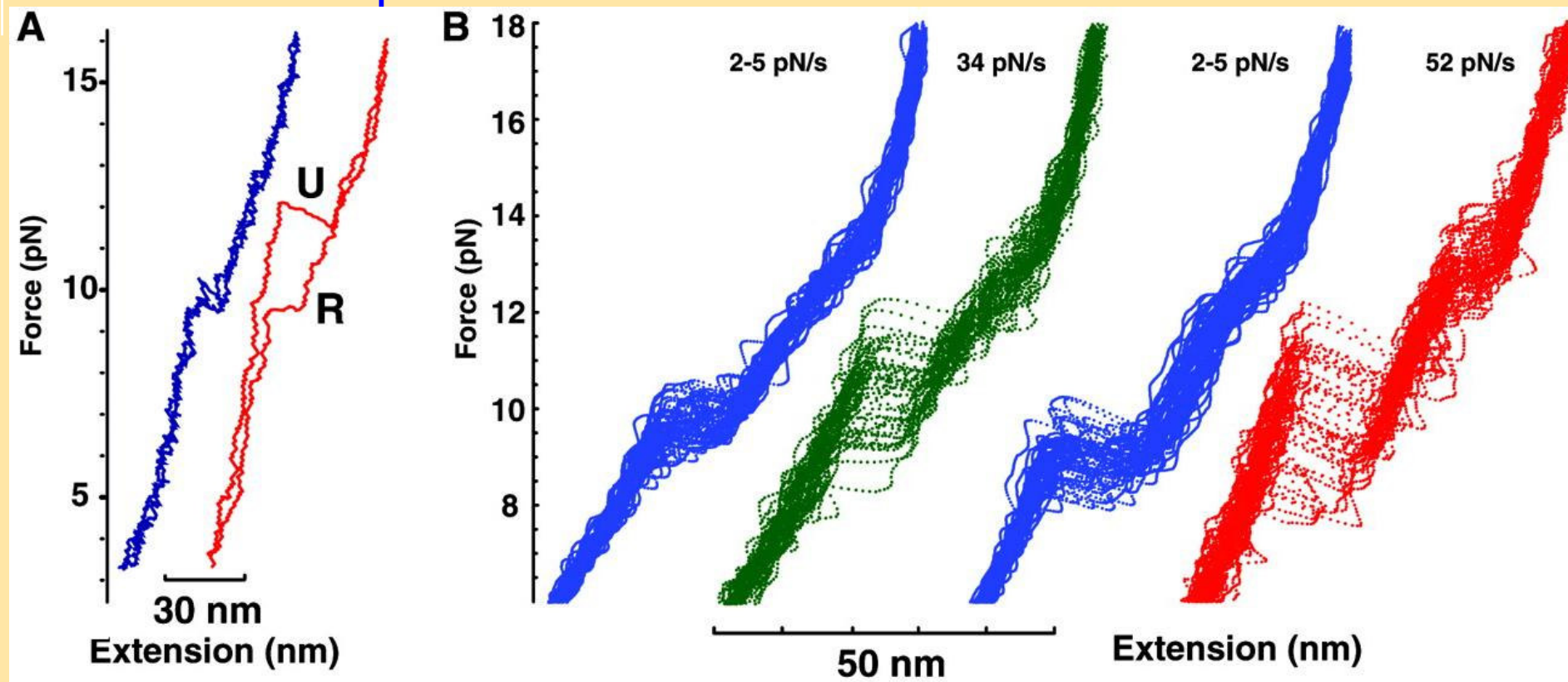
# Nejtenčí gumička



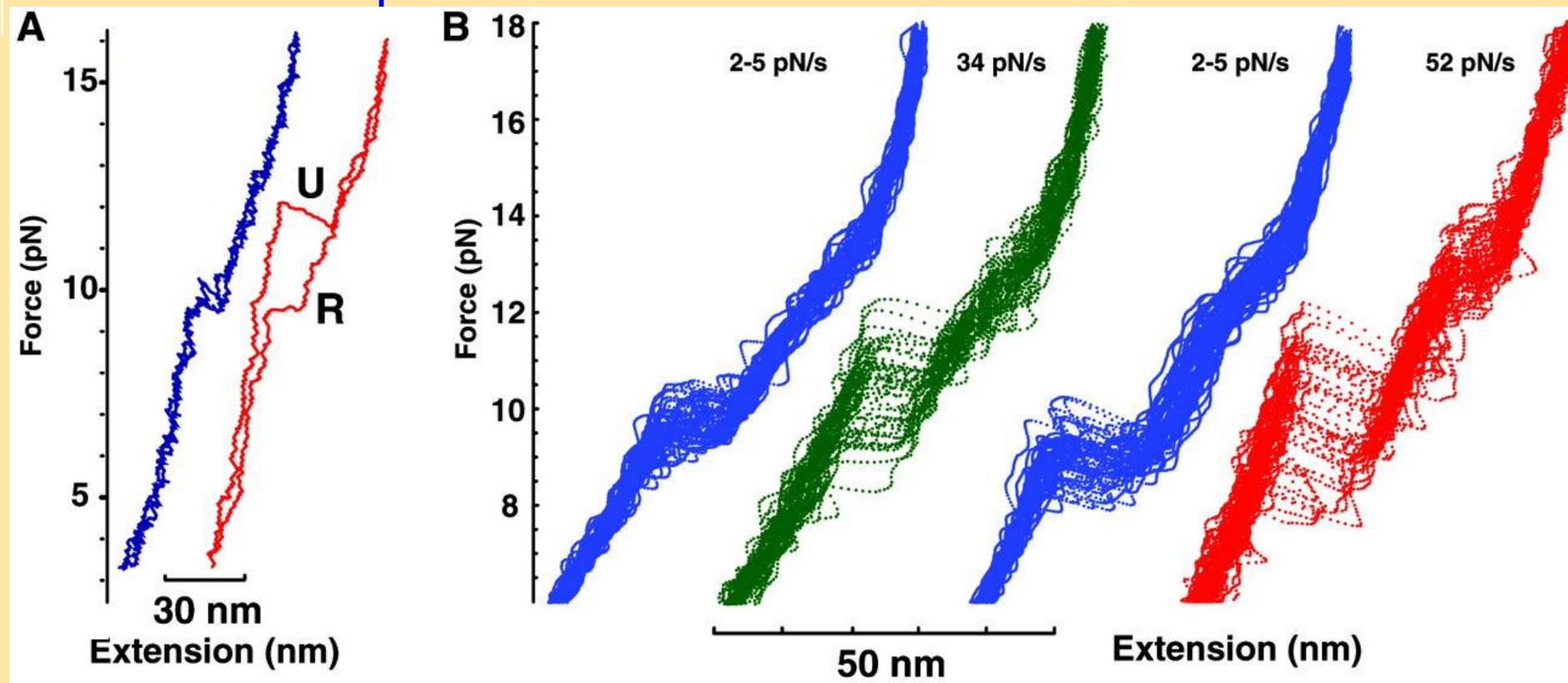
# Zkrocení entropie



# Zkrocení entropie



# Zkrocení entropie

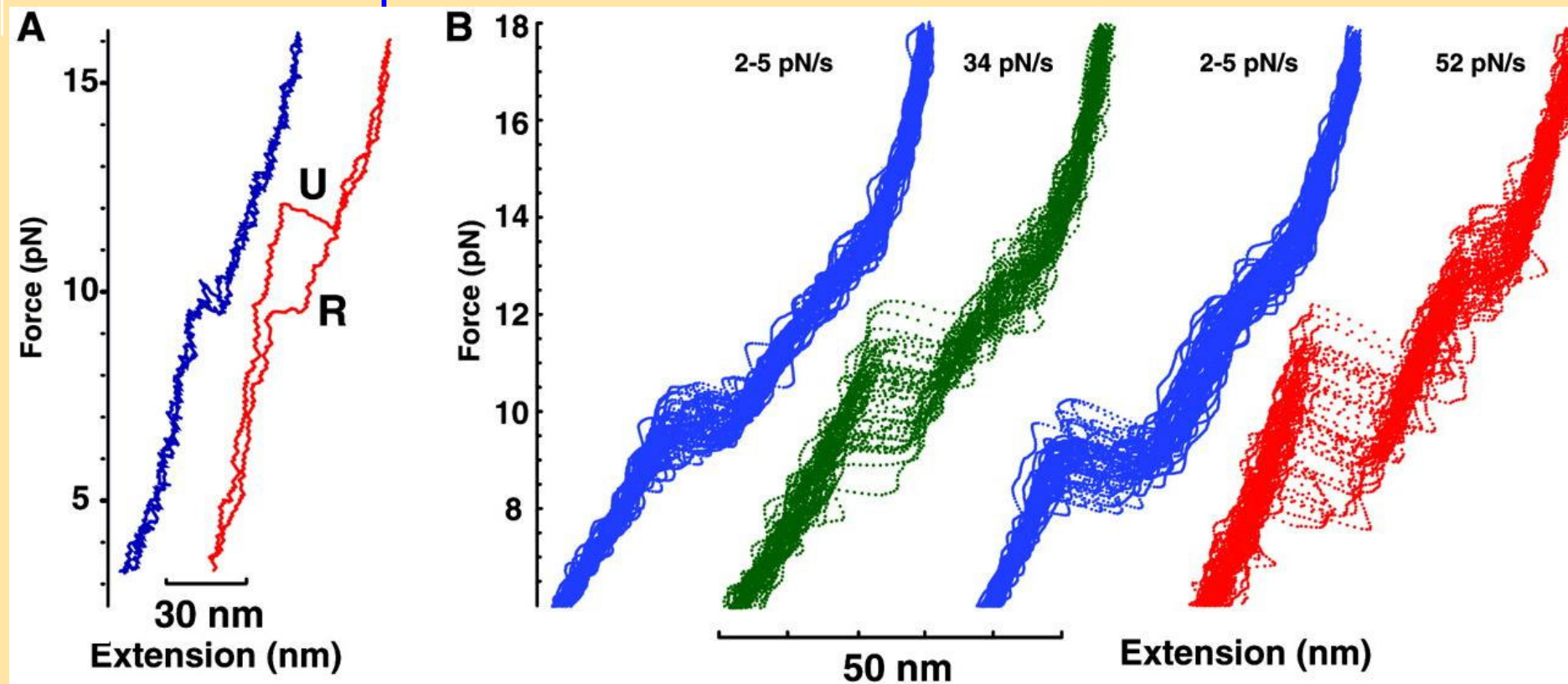


Rovnováha:  $\Delta F = \Delta W$





# Zkrocení entropie



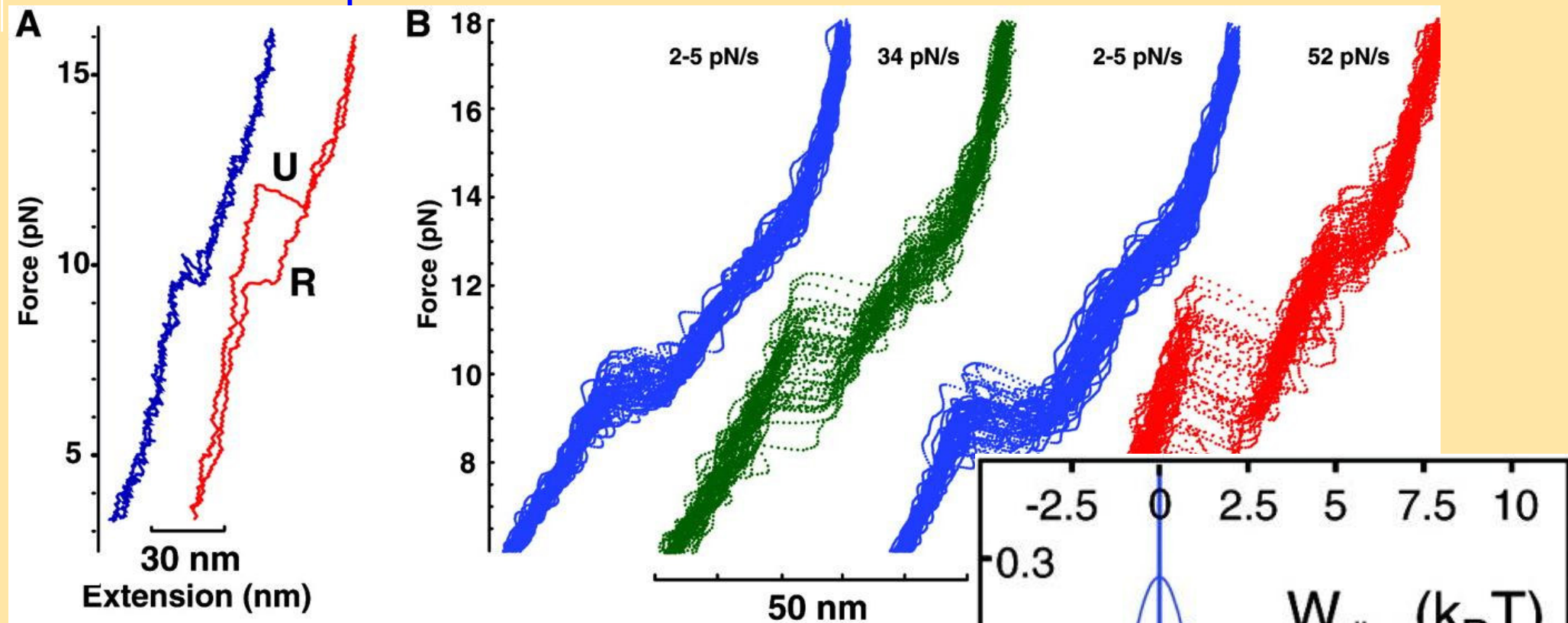
Rovnováha:  $\Delta F = \Delta W$

Nerovnováha:  $e^{\Delta F} = \langle e^{\Delta W} \rangle$

(Jarzynskéhoho identita)

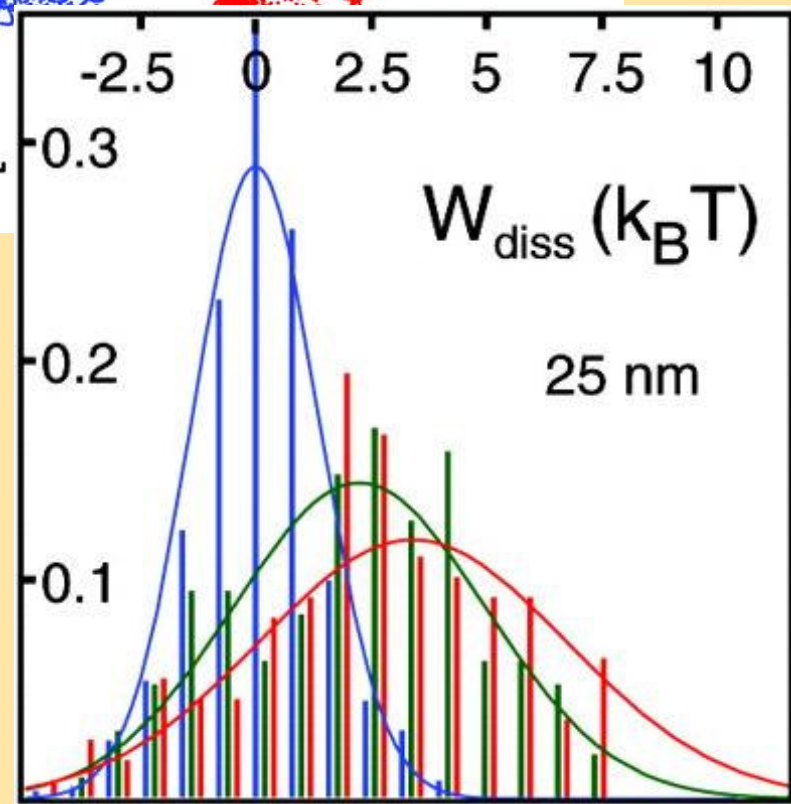


# Zkrocení entropie



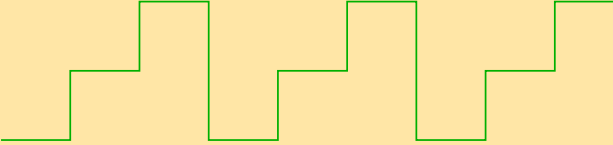
Rovnováha:  $\Delta F = \Delta W$   
Nerovnováha:  $e^{\Delta F} = \langle e^{\Delta W} \rangle$   
(Jarzynskéhoho identita)

Nemožné se stává skutkem!



# Algorithm

$N$  particles on stripe of length  $L$ . Periodic b.c.

Potential  $V(x) = x \pmod{3}$ , 

Average density  $\alpha = N/L$

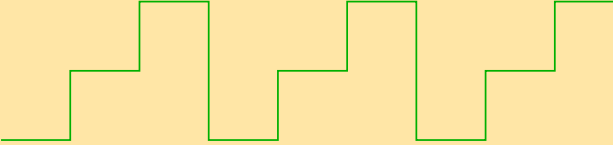
Temperature  $T$ , interaction strength  $g \in [0, 1]$ .

Number of particles on site  $x$ :  $n(x) = \sum_{i=1}^N \delta(x_i - x)$



# Algorithm

$N$  particles on stripe of length  $L$ . Periodic b.c.

Potential  $V(x) = x \pmod{3}$ , 

Average density  $\alpha = N/L$

Temperature  $T$ , interaction strength  $g \in [0, 1]$ .

Number of particles on site  $x$ :  $n(x) = \sum_{i=1}^N \delta(x_i - x)$

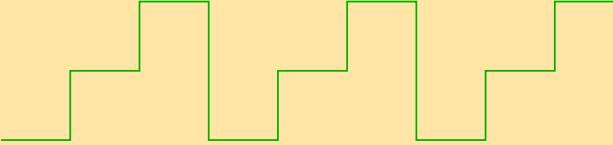
- Attempted move from  $x$  to  $x_{\text{new}} = x \pm 1$

$$\Delta E = V(x_{\text{new}}) - V(x) + (x_{\text{new}} - x) [F_{\text{load}} + F_0 \cos \omega t]$$



# Algorithm

$N$  particles on stripe of length  $L$ . Periodic b.c.

Potential  $V(x) = x \pmod{3}$ , 

Average density  $\alpha = N/L$

Temperature  $T$ , interaction strength  $g \in [0, 1]$ .

Number of particles on site  $x$ :  $n(x) = \sum_{i=1}^N \delta(x_i - x)$

- Attempted move from  $x$  to  $x_{\text{new}} = x \pm 1$

$$\Delta E = V(x_{\text{new}}) - V(x) + (x_{\text{new}} - x) [F_{\text{load}} + F_0 \cos \omega t]$$

- Probability to accept move

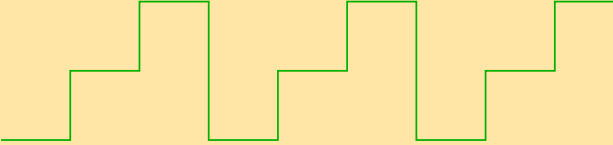
$$\max(1, \exp(-\Delta E/T))$$

Metropolis



# Algorithm

$N$  particles on stripe of length  $L$ . Periodic b.c.

Potential  $V(x) = x \pmod{3}$ , 

Average density  $\alpha = N/L$

Temperature  $T$ , interaction strength  $g \in [0, 1]$ .

Number of particles on site  $x$ :  $n(x) = \sum_{i=1}^N \delta(x_i - x)$

- Attempted move from  $x$  to  $x_{\text{new}} = x \pm 1$

$$\Delta E = V(x_{\text{new}}) - V(x) + (x_{\text{new}} - x) [F_{\text{load}} + F_0 \cos \omega t]$$

- Probability to accept move

$$\max(1, \exp(-\Delta E/T)) \times \{1 - \delta(n(x_{\text{new}}))g\}$$

Metropolis

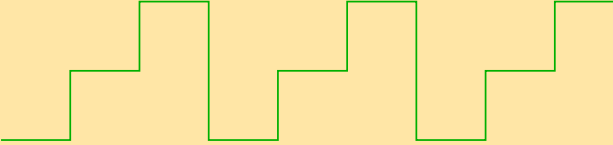
Interaction - exclusion





# Algorithm

$N$  particles on stripe of length  $L$ . Periodic b.c.

Potential  $V(x) = x \pmod{3}$ , 

Average density  $\alpha = N/L$

Temperature  $T$ , interaction strength  $g \in [0, 1]$ .

Number of particles on site  $x$ :  $n(x) = \sum_{i=1}^N \delta(x_i - x)$

- Attempted move from  $x$  to  $x_{\text{new}} = x \pm 1$

$$\Delta E = V(x_{\text{new}}) - V(x) + (x_{\text{new}} - x) [F_{\text{load}} + F_0 \cos \omega t]$$

- Probability to accept move

$$\max(1, \exp(-\Delta E/T)) \times \{1 - \delta(n(x_{\text{new}}))g\}$$

Metropolis

Interaction - exclusion

Back



# Measured quantities

## Current

$$J = \left\langle \sum_{i=1}^N x_i(t+1) - x_i(t) \right\rangle$$



# Measured quantities

Current

$$J = \left\langle \sum_{i=1}^N x_i(t+1) - x_i(t) \right\rangle$$

Efficiency

$$\eta = \frac{\Delta W}{\Delta U}$$



# Measured quantities

## Current

$$J = \left\langle \sum_{i=1}^N x_i(t+1) - x_i(t) \right\rangle$$

## Efficiency

$$\eta = \frac{\Delta W}{\Delta U}$$

$$\Delta W = - \left\langle \sum_{i=1}^N (x_i(t+1) - x_i(t)) F_{\text{load}} \right\rangle \quad \text{useful work}$$

$$\Delta U = \left\langle \sum_{i=1}^N (x_i(t+1) - x_i(t)) F_0 \cos \omega t \right\rangle \quad \text{input from external source}$$

Back





Back

