

## 1 Pracovní úkoly

1. Experimentálně ověřte platnost vztahu pro časovou závislost středního kvadratického posunutí částice  $\overline{s^2}$  při Brownově pohybu.
2. Určete aktivitu Brownova pohybu  $A$  částic latexu ve vodě za pokojové teploty.
3. Vypočítejte Avogadrovu konstantu  $N_A$ .

## 2 Teoretická část

Budeme pozorovat Brownův pohyb částic latexu ve vodě. Pro střední kvadratické posunutí při Brownově pohybu  $\overline{s^2}$  za čas  $t$  platí Einsteinův vztah [1]

$$\overline{s^2} = At \quad (1)$$

kde  $A$  je tzv. aktivita Brownova pohybu. Pro danou částici a prostředí je  $A$  při stálé teplotě konstantní. Hodnotu  $A$  můžeme tedy určit měřením poloh částic při Brownově pohybu v závislosti na čase.

Částice latexu jsou pravidelného kulového tvaru s úzkou distribucí průměru, platí pro ně tedy vztah

$$N_A = \frac{RT}{3\pi\eta r A} \quad (2)$$

kde  $r$  je poloměr latexových částic,  $T$  je teplota prostředí,  $\eta$  dynamická viskozita suspenze latexu ve vodě,  $R$  molární plynová konstanta,  $A$  aktivita Brownova pohybu.

Polohy částic budeme pozorovat mikroskopem. Obraz z mikroskopu bude přenesen na monitor a v pravidelných časových intervalech zaznamenáme polohu částice. Zpracování naměřených hodnot provede program Brown.

Nedochází-li k preferovanému tečení částic určitým směrem, jsou vzdálenosti mezi dvěma následujícími polohami zvětšeným obrazem průmětu vektoru posunutí za čas  $t$  do roviny, do níž je zaostřen mikroskop. Vzdálenosti jednotlivých poloh označíme  $S$ . Výpočtem aritmetického průměru kvadrátu naměřených vzdáleností  $S$  získáme  $\overline{S^2}$ . Protože je v rovině zaostření mikroskopu stejné pravděpodobností zastoupení všech směrů, je  $\overline{S^2} = 2\overline{s^2}$  z relace (1). K výpočtu  $\overline{s^2}$  využijeme program Brown.

Označíme vzdálenosti sousedních bodů  $S_t$ , vzdálenosti bodů  $i$  a  $i + 2$  jako  $S_{2t}$ , vzdálenosti bodů  $i$  a  $i + 3$  jako  $S_{3t}$ , atd. Potom je-li splněn Einsteinův vztah, musí platit podle vztahu (1) pro střední hodnoty kvadrátů těchto vzdáleností vztah

$$\overline{S_t^2} : \overline{S_{2t}^2} : \overline{S_{3t}^2} : \overline{S_{4t}^2} = \overline{s_t^2} : \overline{s_{2t}^2} : \overline{s_{3t}^2} : \overline{s_{4t}^2} = t : 2t : 3t : 4t \quad (3)$$

Tento poměr opět vypočítá program Brown. Je-li shoda dostatečná, použijeme naměřené hodnoty k určení aktivity Brownova pohybu částic latexu ve vodě a k výpočtu Avogadrových konstant.

Pro zředěnou suspenzi latexových koulí ve vodě lze její dynamickou viskozitu při teplotě  $T$  odhadnout podle rovnice

$$\eta = (1 + 2,5\varphi) \cdot \eta_v \quad (4)$$

kde  $\varphi$  je objemový podíl částic a  $\eta_v$  je dynamická viskozita čisté kapaliny při teplotě  $T$ .

### 3 Výsledky měření

Měření bylo provedeno při teplotě  $27,5^\circ\text{C}$ , tlaku  $996,9\text{ hPa}$  a relativní vlhkosti vzduchu  $36,0\%$ . Ve výpočtech budu počítat s hodnotou molární plynové konstanty  $R = 8,314\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  a její chybu budu považovat za zanedbatelnou.

Před samotným měřením poloh částic při Brownově pohybu jsem si nejdříve změřil hodnoty veličin, které budou potřeba ve výpočtech.

Vzorek byl během měření konstantně osvětlován, takže jeho teplota byla pravděpodobně o něco větší než teplota okolí, jelikož se však těžko odhaduje přesná velikost tohoto rozdílu, budu do rovnic dosazovat teplotu okolí. Odhadnu ovšem přesnost měření teploty vzorku na  $0,5^\circ\text{C}$ . Po přepočtech na Kelviny tak dostanu teplotu vzorku  $T = (300,7 \pm 0,5)\text{ K}$ .

K určení pravidelných časových intervalů při zaznamenávání poloh jsem využil zvukovou signalizaci času. Dobu mezi jednotlivými zvukovými signály  $\Delta t$  jsem změřil pomocí stopek s nejmenším dílkem stupnice  $0,01\text{ s}$ . Pro větší přesnost jsem vždy měřil 10 dob  $\Delta t$ . Naměřené hodnoty ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty časového intervalu  $\Delta t$  udávaného zvukovou signalizací

Číslo měření	$\frac{10\Delta t}{s}$
1	47,94
2	47,95
3	47,87
4	48,11
5	48,02

Z naměřených hodnot jsem poté určil průměr a chybu měření podle rovnice:

$$\sigma_{10\Delta t} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (10\Delta t_i - \overline{10\Delta t})^2}{(n-1)n}} + \sigma_P^2 \quad (5)$$

kde chyba metody  $\sigma_P$  kromě chyby měřícího přístroje také zahrnuje mojí reakční dobu. Odhaduji její hodnotu na  $\sigma_P = 0,2\text{ s}$ . Pro dobu  $\Delta t$  poté platí  $\Delta t = 10\overline{\Delta t}/10$ , obdobně pro její chybu  $\sigma_{\Delta t} = \sigma_{10\Delta t}/10$ . Celkově jsem takto určil dobu mezi jednotlivými zvukovými signály na  $\Delta t = (4,80 \pm 0,02)\text{ s}$ .

Dále jsem si změřil průměr částic na obrázku z elektronového mikroskopu, který mi byl přidělen. Nejdříve jsem si změřil zdánlivé velikosti průměrů kuliček na obrázku  $\tilde{d}$ . Měřil jsem pravítkem s přesností  $0,1\text{ cm}$  a změřené průměry jsem na obrázku vyznačil, viz. příloha. Naměřené zdánlivé průměry kuliček ukazuje tabulka 2:

Tabulka 2: Naměřené hodnoty zdánlivých průměrů latexových kuliček ze snímku elektronového mikroskopu

$\tilde{d}$	2,5	2,8	2,8	2,7	2,7	2,5	2,7	2,1	2,7	2,5
$\frac{\tilde{d}}{\text{cm}}$	2,7	2,6	2,1	2,3	2,7	2,6	2,3	2,3	3,0	2,5

Z naměřených hodnot jsem udělal průměr a vypočítal chybu podle rovnice

$$\sigma_{\tilde{d}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{d}_i - \overline{\tilde{d}})^2}{(n-1)n}} + \sigma_P^2 \quad (6)$$

kde uvažuji chybu měření  $\sigma_P = 0,1\text{ cm}$ . Dostal jsem  $\tilde{d} = (2,6 \pm 0,1)\text{ cm}$ .

Délku měřítka snímku jsem určil na  $\tilde{m} = (6,1 \pm 0,1) \text{ cm}$ . Tato délka by měla odpovídat  $1\mu\text{m}$  ve skutečnosti. Pro skutečnou délku poloměru kuliček v mikrometrech tedy platí

$$r = \frac{\tilde{d}}{2\tilde{m}} \quad (7)$$

a pro chybu výsledku v mikrometrech dostanu

$$\sigma_r = \sqrt{\left(\frac{1}{2\tilde{m}}\right)^2 \sigma_{\tilde{d}}^2 + \left(\frac{\tilde{d}}{2\tilde{m}}\right)^2 \sigma_{\tilde{m}}^2} \quad (8)$$

Celkově jsem takto určil poloměr latexových kuliček na  $r = (0,209 \pm 0,009) \mu\text{m}$ .

Viskozitu čisté vody při teplotě  $27,5^\circ\text{C}$  jsem určil podle [2] na hodnotu  $\eta_v = (0,84 \pm 0,01) 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ , kde jsem chybu této konstanty určil pomocí hodnot  $\eta_v(28^\circ\text{C})$  a  $\eta_v(27^\circ\text{C})$  (rozmezí volím podle chyby měření teploty vzorku) jako  $\sigma_{\eta_v} = \frac{\eta_v(27^\circ\text{C}) - \eta_v(28^\circ\text{C})}{2}$ .

Objemový podíl částic byl podle příloženého návodu roven  $\varphi = 1 : 10\,000$ , viskozitu dané suspenze tedy určím podle (4). Jelikož ovšem je objemový podíl částic tak malý, tak bude viskozita suspenze shodná s viskozitou čisté vody v rámci přesnosti, platí tedy  $\eta = (0,84 \pm 0,01) 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ .

Dále jsem přešel k samotnému měření poloh částic při Brownově pohybu. K tomuto účelu byl použit mikroskop Motic s připevněnou kamerou. Obraz byl poté na monitoru zobrazen pomocí programu Motic Images. Přes program Motic Images byl spuštěn průsvitný program Brown, který umožňoval pomocí kliknutí myši zaznamenávat polohy částic. Kliknutí myši bylo prováděno ručně v pravidelných časových intervalech, které udávala zvuková signalizace.

Nejdříve jsem zkontroloval měřítko v Motic Images pomocí kalibračního sklíčka a v programu Brown jsem nastavil příslušné zvětšení. Dále jsem si připravil vzorek podle návodu. Podložní a krycí sklíčko jsem vyčistil pomocí lihu. Na podložní sklíčko jsem umístil dvě krycí sklíčka a mezi ně kápl malou kapku suspenze latexu ve vodě. Vzorek jsem poté překryl třetím krycím sklíčkem. Bylo třeba dbát, aby nevznikaly bubliny a také aby se vzorek nedostal pod krajní krycí sklíčka. Připravený vzorek požadavky splňoval.

Pomocí programu Brown jsem poté zaznamenával polohy několika částic. Program Brown provedl také jejich zpracování a vypočítal střední kvadratické posunutí  $\overline{s^2}$  pro danou částici, jejich poměr daný (3), a příslušné chyby výsledku.

Často bylo obtížné naměřit více než 25 poloh částice, neboť částice často buď utekly z výřezu obrazu nebo z roviny, ve které byl mikroskop zaostřen. Naměřené hodnoty středních kvadratických posunutí pro pět vybraných částic ukazuje tabulka 3. Chyby byly vypočítané programem Brown a odpovídají standardním odchylkám průměrů. U částice 1 se mi podařilo naměřit mnohem více než 25 poloh, takže příslušné hodnoty považuji za nejpřesnější.

Tabulka 3: Naměřené hodnoty středních kvadratických posunutí pro různé částice

	$\Delta t$	$2\Delta t$	$3\Delta t$	$4\Delta t$
Částice 1	$(12 \pm 1) \mu\text{m}^2$	$(25 \pm 2) \mu\text{m}^2$	$(37 \pm 3) \mu\text{m}^2$	$(48 \pm 5) \mu\text{m}^2$
Částice 2	$(18 \pm 2) \mu\text{m}^2$	$(38 \pm 4) \mu\text{m}^2$	$(67 \pm 8) \mu\text{m}^2$	$(95 \pm 10) \mu\text{m}^2$
Částice 3	$(20 \pm 4) \mu\text{m}^2$	$(37 \pm 5) \mu\text{m}^2$	$(54 \pm 9) \mu\text{m}^2$	$(74 \pm 12) \mu\text{m}^2$
Částice 4	$(14 \pm 2) \mu\text{m}^2$	$(33 \pm 5) \mu\text{m}^2$	$(51 \pm 8) \mu\text{m}^2$	$(66 \pm 9) \mu\text{m}^2$
Částice 5	$(18 \pm 2) \mu\text{m}^2$	$(33 \pm 5) \mu\text{m}^2$	$(47 \pm 6) \mu\text{m}^2$	$(62 \pm 10) \mu\text{m}^2$

Program Brown dále určil poměry středních kvadratických posunutí a příslušné chyby. Výsledek pro pět vybraných částic ukazuje tabulka 4.

Tabulka 4: Dopotčítané poměry středních kvadratických posunutí

Poměr středních kvadratických posunutí							
Částice 1	1	:	2, 16(0, 27)	:	3, 15(0, 40)	:	4, 04(0, 55)
Částice 2	1	:	2, 14(0, 33)	:	3, 80(0, 58)	:	5, 44(0, 80)
Částice 3	1	:	1, 86(0, 43)	:	2, 72(0, 68)	:	3, 72(0, 90)
Částice 4	1	:	2, 39(0, 55)	:	3, 73(0, 84)	:	4, 86(1, 06)
Částice 5	1	:	1, 85(0, 36)	:	2, 64(0, 48)	:	3, 49(0, 70)

Program dále umožnil vytisknout trajektorii částice a rozložení vektorů posunutí. V příloze jsou tyto výsledky vidět pro částici 1 a částici 5.

Je vidět, že pro dané částice platí poměr daný (3) v rámci chyby měření, kromě částice 2. Přičemž ovšem je měření částic 2 až 5 zatíženo velkou relativní chybou, což bylo způsobeno právě tím, že pro ně nebylo naměřeno tolik poloh jako pro částici 1.

Uvažoval jsem, jestli k výpočtu aktivity Brownova pohybu  $A$  a Avogadrovy konstanty  $N_A$  mám užít naměřené hodnoty pro všech pět částic a výsledek zprůměrovat nebo využít pouze hodnoty naměřené pro částici 1, jelikož tyto hodnoty považuji za nejpřesnější.

Abych se mohl rozhodnout, tak jsem si vypočítal, jakým hodnotám aktivity Brownova pohybu naměřené hodnoty pro částice 1 až 5 odpovídají. K tomu jsem použil lineární regrese, přičemž nemůžeme považovat chyby všech bodů za konstantní. Označím chybu určení  $\overline{s_i^2}$  pro čas  $t_i$  jako  $\sigma_i$ . Když naměřenými daty  $\overline{s^2}$  a  $t$  chci tedy proložit závislost  $\overline{s^2} = At$ , tak pro aktivitu Brownova pohybu a její chybu platí [3]

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\overline{s_i^2} t_i}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{t_i^2}{\sigma_i^2}} \quad \sigma_A = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n \frac{t_i^2}{\sigma_i^2} \right)^{-1}} \quad (9)$$

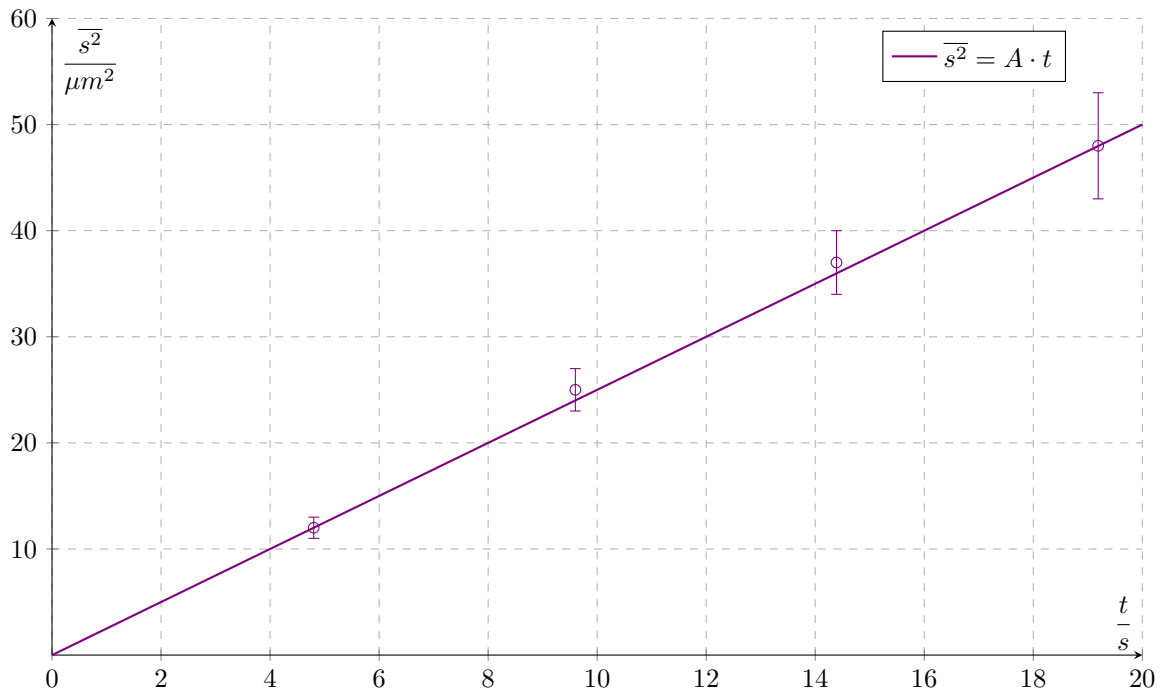
Pro částice 1 až 5 jsem takto dostal hodnoty, které ukazuje tabulka 5.

Tabulka 5: Vypočítané hodnoty  $A$  kterým odpovídají naměřené hodnoty pro jednotlivé částice

	$A$ $10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Částice 1	$2, 5 \pm 0, 1$
Částice 2	$4, 2 \pm 0, 2$
Částice 3	$3, 9 \pm 0, 3$
Částice 4	$3, 3 \pm 0, 2$
Částice 5	$3, 4 \pm 0, 2$

Zde je již vidět, že částice 2 až 5 odpovídají vždy větší hodnotě  $A$  než částice 1. Existuje zde tedy trend, že méně naměřených hodnot odpovídá větší hodnotě aktivity vzorku  $A$ . Kdybych data tedy zprůměroval, tak bych hodnotu určenou z měření pro částici 1 ovlivnil jednostranně. Rozhodl jsem se proto, že pro další výpočty použiji jenom hodnoty naměřené pro částici 1.

Pro výslednou aktivitu Brownova pohybu částic latexu ve vodě za pokojové teploty tedy platí  $A = (2, 5 \pm 0, 1) 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Grafické zpracování naměřených hodnot pro částici 1 ukazuje graf 1.



Graf 1: Výsledek grafického zpracování naměřených hodnot pro částici 1

Avogadrovu konstantu poté určím dle rovnice (2) a chybu výsledku ze zákona šíření chyb jako

$$\sigma_{N_A} = \sqrt{\left(\frac{R}{3\pi\eta r A}\right)^2 \sigma_T^2 + \left(\frac{RT}{3\pi\eta^2 r A}\right)^2 \sigma_\eta^2 + \left(\frac{RT}{3\pi\eta r^2 A}\right)^2 \sigma_r^2 + \left(\frac{RT}{3\pi\eta r A^2}\right)^2 \sigma_A^2} \quad (10)$$

Dostanu takto hodnotu Avogadrový konstanty  $N_A = (5,9 \pm 0,4) 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

## 4 Diskuse

Teplotu vzorku jsem určil podle teploty okolí. Jak jsem již však zmínil, vzorek byl osvětlován, a tak jeho teplota mohla být vyšší než teplota okolí. Zároveň jsem pracoval s hodnotou viskozity vzorku při teplotě okolí a je známo, že dynamická viskozita vody s rostoucí teplotou klesá. Podíl  $\frac{T}{\eta(T)}$ , který se vyskytuje ve výpočtech, tak bude celkem citlivý na hodnotu teploty. Pro zvětšení přesnosti měření by tedy určitě bylo zapotřebí nějakým způsobem měřit přímo teplotu vzorku.

Při měření průměru částic ze snímku z elektronového mikroskopu k žádným komplikovanostem nedošlo. Pouze by bylo vhodné k měření rozměrů na snímku použít měřicí přístroj s větší přesností než 0,1 cm.

Největší nepřesnost měření však určitě pochází ze samotného měření poloh částic při Brownově pohybu. Jelikož jsem polohy částic zaznamenával ručně kliknutím myši, tak jsem je určitě ne vždy zaznamenal zcela přesně. Mohla se zde projevit moje reakční doba na zvukový signál a také jsem nemusel vždy mít kurzor myši přesně na středu částice v okamžik kliknutí. To znamená, že chyba určení  $\overline{s^2}$  bude ještě větší než chyba, kterou určil program Brown.

Velká relativní chyba pro částice 2 až 5 je způsobena relativně malým počtem naměřených poloh v porovnání s počtem poloh naměřených pro částici 1. Ideální by bylo naměřit několik takových sad hodnot, jako jsem naměřil pro částici 1 a udělat z nich ve výsledku průměr. Naměřit tolik hodnot pro více částic se však ukázalo být značně obtížné, neboť částice buď utíkaly z výřezu nebo z roviny zaostření.

Výsledná hodnota Avogadrovy konstanty  $N_A = (5,9 \pm 0,4) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  s relativní chybou 6,7% určená z naměřených poloh částice 1 se v rámci chyby měření shoduje se skutečnou hodnotou Avogadrovy konstanty [4]  $N_A = 6,022\,140\,758(62) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

## 5 Závěr

Ze změřených poměrů středních kvadratických posunutí vypočítaných podle (3) byla experimentálně ověřena platnost vztahu pro časovou závislost kvadratického posunutí částice  $\overline{s^2}$  při Brownově pohybu. Aktivita Brownova pohybu částic latexu ve vodě za pokojové teploty byla určena na  $A = (2,5 \pm 0,1) \cdot 10^{-12} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  a hodnota Avogadrovy konstanty  $N_A = (5,9 \pm 0,4) \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

## 6 Seznam použité literatury

- [1] D. Slavínská, I. Stulíková, P. Vostrý.: Fyzikální praktikum I., SPN Praha 1989, kapitola XVI., str. 106-110
- [2] Water - Dynamic and Kinematic Viskosity. [online]. [cit. 2018-04-20]. [https://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d\\_596.html](https://www.engineeringtoolbox.com/water-dynamic-kinematic-viscosity-d_596.html)
- [3] English, Jirí. Úvod do praktické fyziky I. 1. vyd. Praha: MATFYYPRESS, 2006, 145 s. ISBN 80-86732-93-2.
- [4] Avogadro constant - Wikipedia. [online]. [cit. 2018-04-20]. [https://en.wikipedia.org/wiki/Avogadro\\_constant](https://en.wikipedia.org/wiki/Avogadro_constant)

## Naměřené hodnoty

č. měření	$\frac{10 \Delta h}{s}$
1	47,94
2	47,95
3	47,87
4	48,11
5	48,02

$$\begin{aligned} \alpha &= \cancel{27,14}^\circ\text{C} \quad \alpha = 27,5^\circ\text{C} \\ \varphi &= 36\% \\ \rho &= 996,9 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Matematicko-fyzikální fakulta  
Fyzikální praktikum I

5 bodů za úlohu!

2)

$$1: 2,74(0,33) : 3,80(0,58) : 5,44(0,20)$$

$$18 \pm 2, \quad 38 \pm 4, \quad 67 \pm 8, \quad 97 \pm 10$$

3)

$$1: 1,86(0,47) : 2,72(0,68) : 3,72(0,90)$$

$$20 \pm 4, \quad 32 \pm 5, \quad 54 \pm 9, \quad 74 \pm 12$$

4)

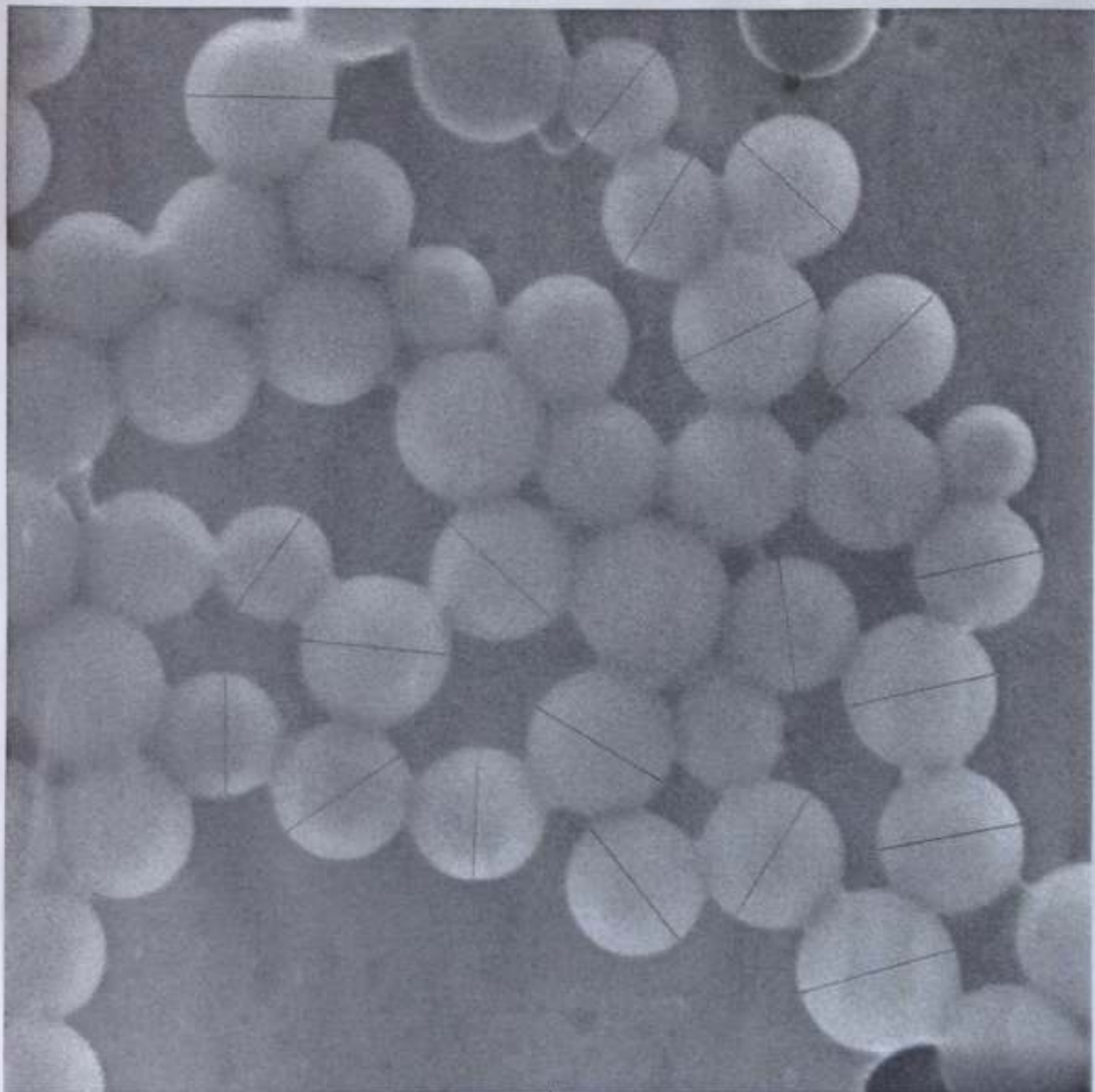
$$1: 2,38(0,55) : 3,73(0,84) : 4,86(1,06)$$

$$14 \pm 2, \quad 33 \pm 5, \quad 57 \pm 8, \quad 66 \pm 9$$

5)

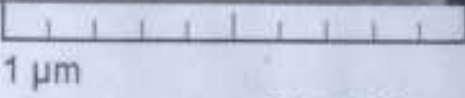
$$1: 1,85(0,36) : 2,64(0,48) : 3,49(0,70)$$

$$18 \pm 2, \quad 33 \pm 5, \quad 47 \pm 6, \quad 62 \pm 10$$




SEM HV: 15.00 kV  
View field: 3.283  $\mu\text{m}$   
SEM MAG: 70.00 kx

WD: 6.626 mm  
Det: SE Detector  
Date(m/d/y): 02/13/13



MIRAX TESCANA

Digital Microscopy Imaging 



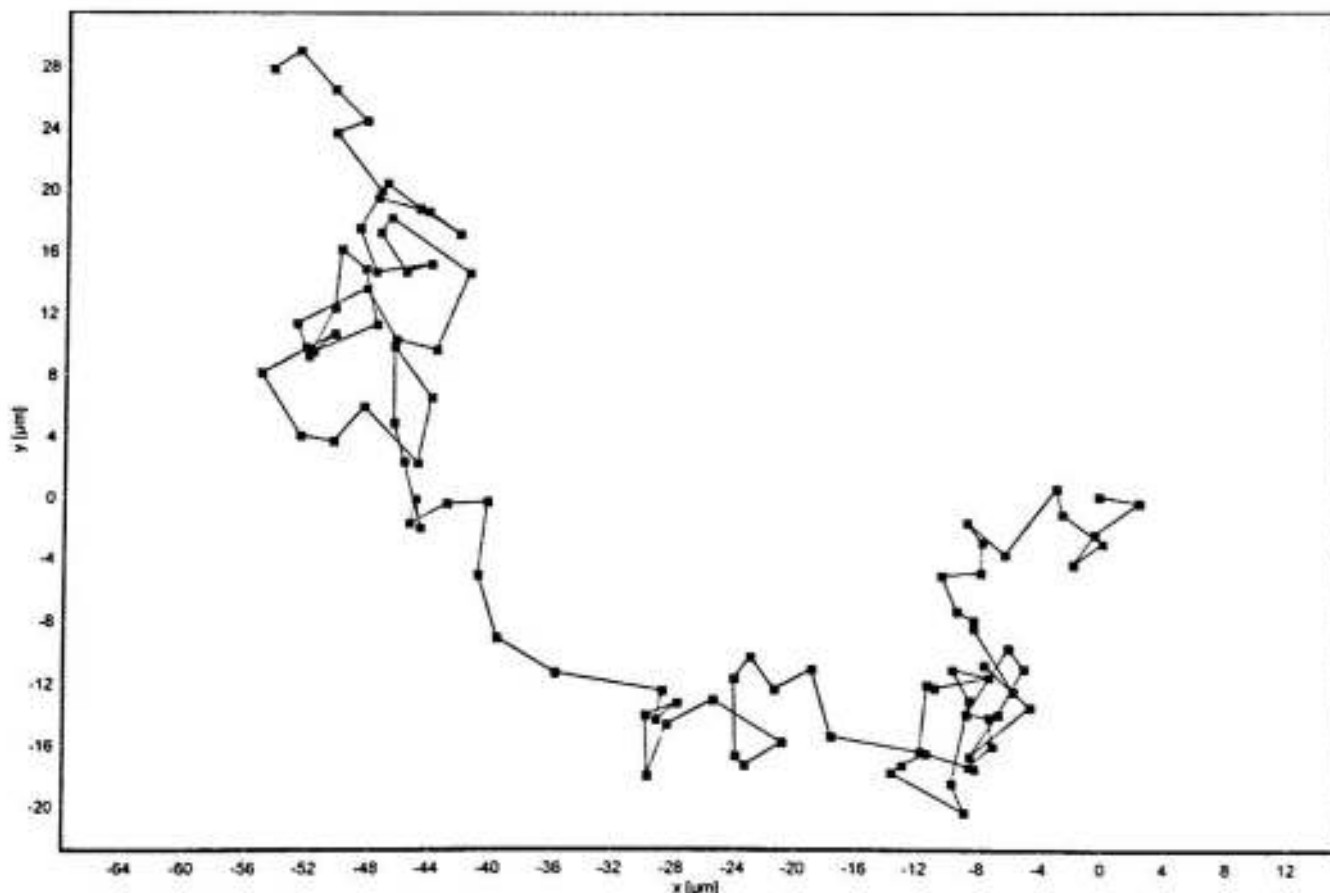
## Studium Brownova pohybu — trajektorie

Jméno a příjmení: Martin Hanák  
Login: /student  
Datum a čas: 20.4.2018 14:48:06  
Číslo/název měření: 01

Poměry středních kvadratických posunutí: 1 : 2,16 (0,27) : 3,15 (0,40) : 4,04 (0,55)  
(V závorkách jsou std. odchylky průměrů.)

Střední kvadratická posunutí:

pro čas $t$	$(12 \pm 1) \mu\text{m}^2$
pro čas $2t$	$(25 \pm 2) \mu\text{m}^2$
pro čas $3t$	$(37 \pm 3) \mu\text{m}^2$
pro čas $4t$	$(48 \pm 5) \mu\text{m}^2$



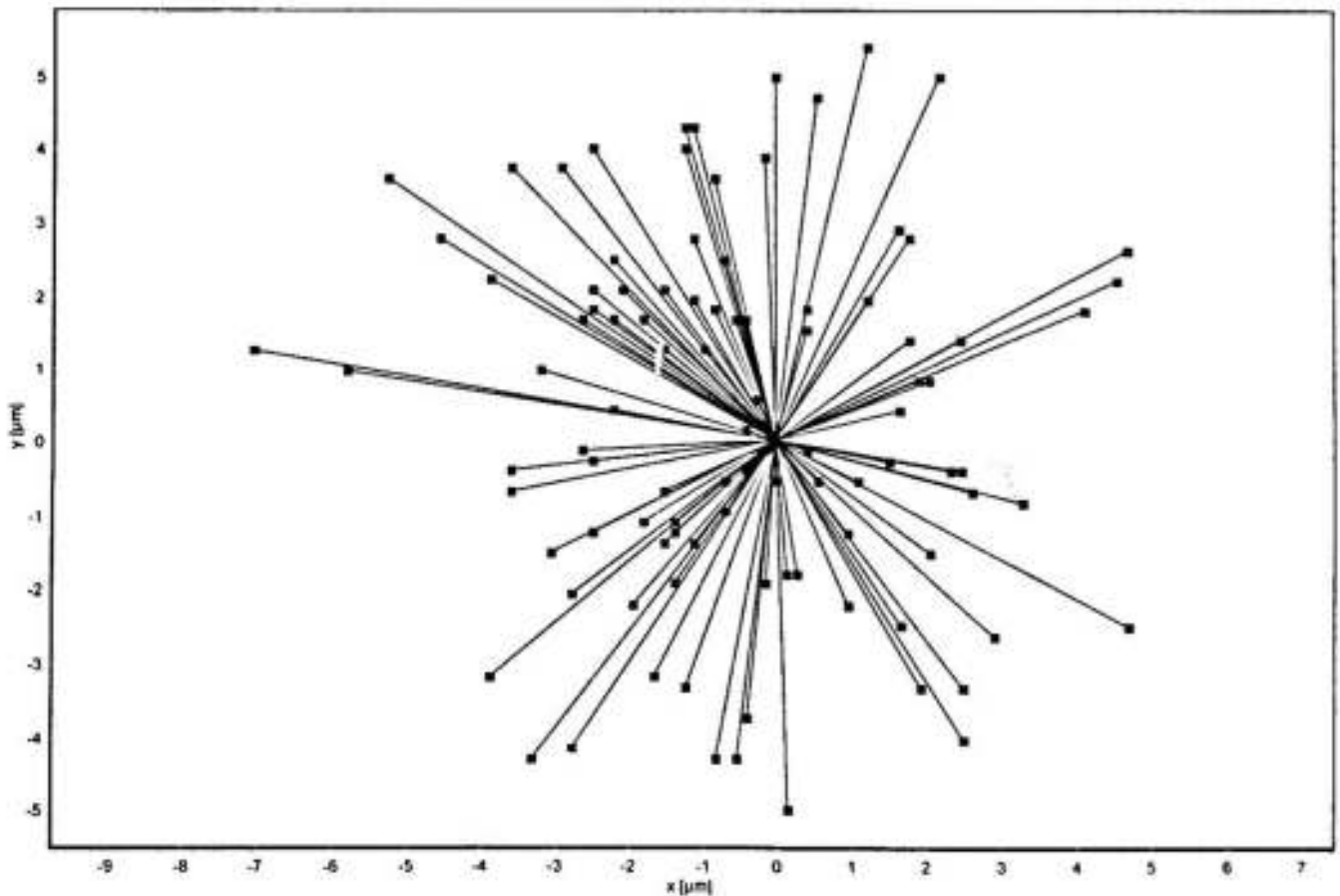
## Studium Brownova pohybu — rozložení vektorů posunutí

Jméno a příjmení: Martin Hanák  
Login: /student  
Datum a čas: 20.4.2018 14:48:06  
Číslo/název měření: 01

Poměry středních kvadratických posunutí: 1 : 2,16 (0,27) : 3,15 (0,40) : 4,04 (0,55)  
(V závorkách jsou std. odchylky průměrů.)

Střední kvadratická posunutí:

pro čas $t$	$(12 \pm 1) \mu\text{m}^2$
pro čas $2t$	$(25 \pm 2) \mu\text{m}^2$
pro čas $3t$	$(37 \pm 3) \mu\text{m}^2$
pro čas $4t$	$(48 \pm 5) \mu\text{m}^2$



*Mh*

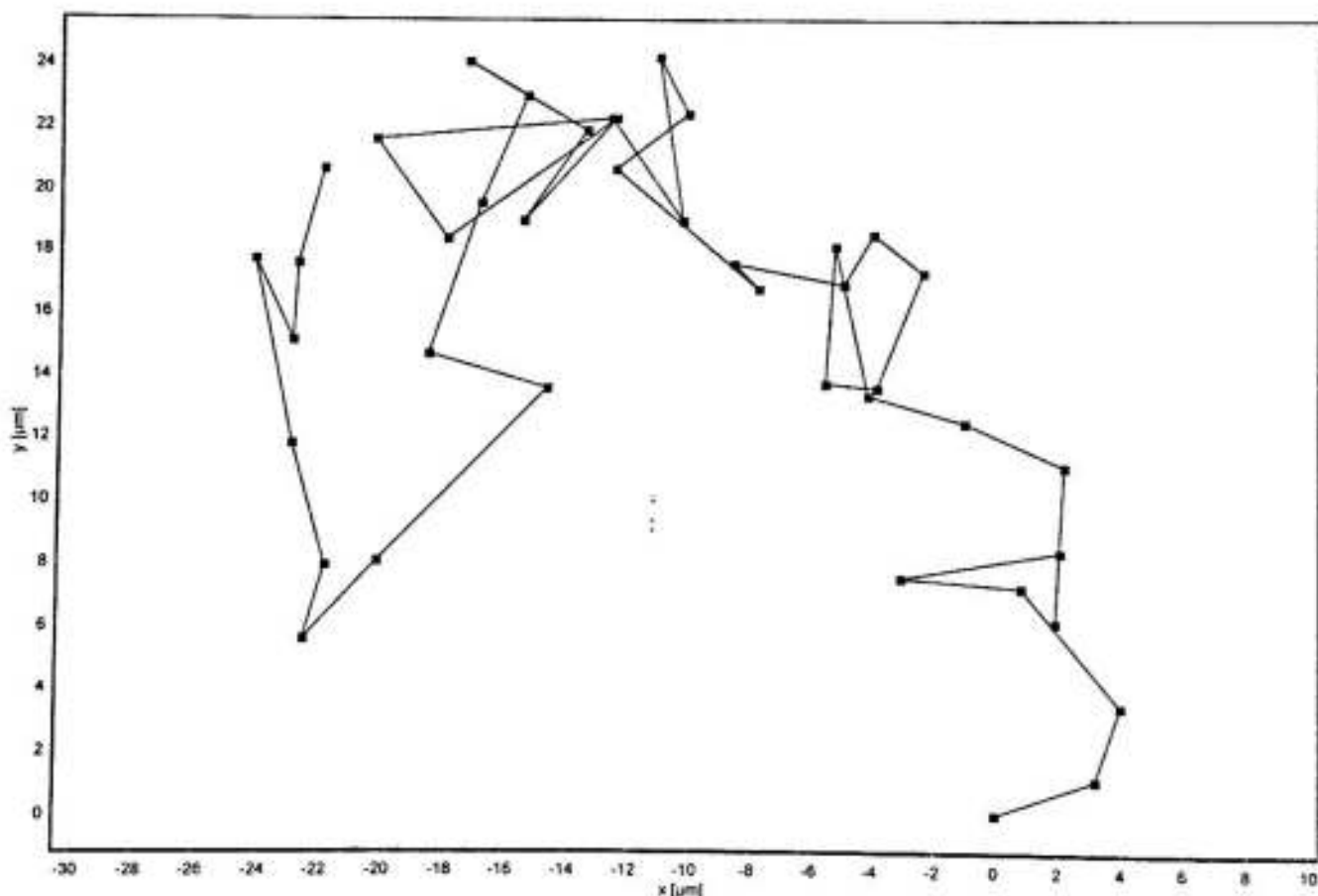
## Studium Brownova pohybu — trajektorie

Jméno a příjmení: Martin Hanák  
Login: /student  
Datum a čas: 20.4.2018 14:48:30  
Číslo/název měření: 05

Poměry středních kvadratických posunutí: 1 : 1,85 (0,36) : 2,64 (0,49) : 3,49 (0,70)  
(V závorkách jsou std. odchylky průměrů.)

Střední kvadratická posunutí:

pro čas $t$	$(18 \pm 2) \mu\text{m}^2$
pro čas $2t$	$(33 \pm 5) \mu\text{m}^2$
pro čas $3t$	$(47 \pm 6) \mu\text{m}^2$
pro čas $4t$	$(62 \pm 10) \mu\text{m}^2$



Matematicko-fyzikální fakulta  
Fyzikální praktikum I

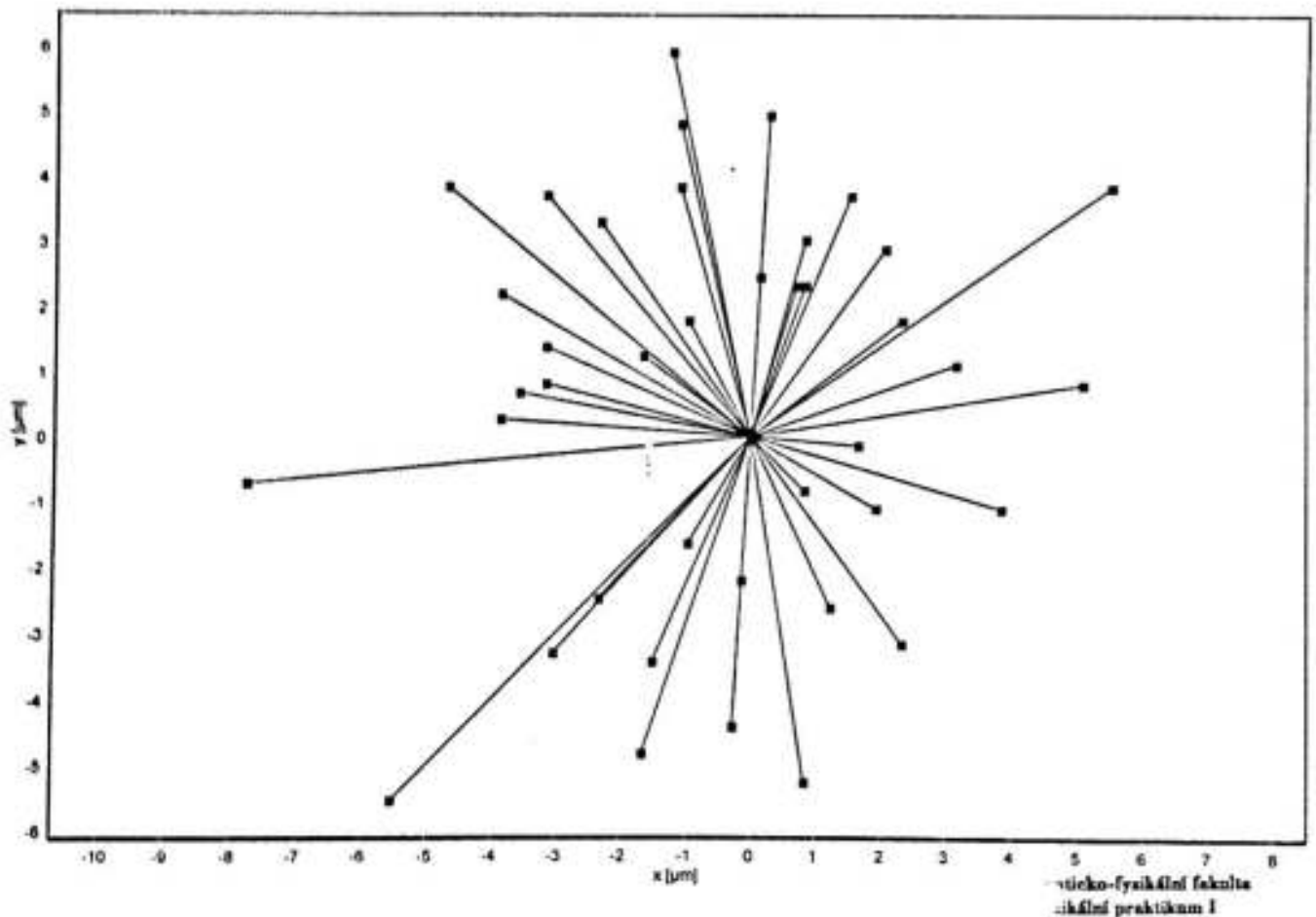
## Studium Brownova pohybu — rozložení vektorů posunutí

Jméno a příjmení: Martin Hanák  
Login: /student  
Datum a čas: 20.4.2018 14:48:30  
Číslo/název měření: 04 05

Poměry středních kvadratických posunutí: 1 : 1,85 (0,36) : 2,64 (0,49) : 3,49 (0,70)  
(V závorkách jsou std. odchylky průměrů.)

Střední kvadratická posunutí:

pro čas $t$	$(18 \pm 2) \mu\text{m}^2$
pro čas $2t$	$(33 \pm 5) \mu\text{m}^2$
pro čas $3t$	$(47 \pm 6) \mu\text{m}^2$
pro čas $4t$	$(62 \pm 10) \mu\text{m}^2$



# XVI Studium Brownova pohybu

## Pracovní úkol:

1. Experimentálně ověřte platnost Einsteinova vztahu pro střední kvadratické posunutí částice  $\overline{s^2}$  při Brownově pohybu.
2. Určete aktivitu Brownova pohybu  $A$  částic latexu ve vodě za pokojové teploty.
3. Vypočtete Avogadrovu konstantu  $N_A$ .

## Klíčová slova:

Tepelný pohyb molekul, Einsteinův vztah, aktivita Brownova pohybu, Avogadrova konstanta.

## Pomůcky:

mikroskop Motic  
stopky  
zvuková signalizace času  
teploměr

latexová emulze  
skleněná tyčka  
kalibrační sklo

podložní sklo  
krycí sklíčko  
měřítko

## Pokyny k měření:

1. Pro jednu částici je nutné změřit nejméně 25 poloh.
2. Vzhledem k tomu, že velikost částic je blízká vlnové délce světla, pozorujeme výrazné ohybové jevy. Nevidíme přímo částici, ale pozorujeme ohyb světla na částici s typickou strukturou tmavých a světlých prstenců.
3. Časový interval udávaný zvukovou signalizací neodpovídá přesně údajům na štítku.
4. Výsledky průběžně tiskněte a ukládejte!
5. Průměr částic určete ze snímku z elektronového mikroskopu.

## Pozn.:

- latex je zředěn v poměru objemů 1 : 10000
- dělení kalibrační stupnice - nejmenší dílek stupnice je 0,01 mm



numerická apertura N.A.

## Práce s mikroskopem

- nastavení snímání obrazu provádějte s cvičným preparátem (kalibrační sklo, čára fixou), vzorek pro pozorování Brownova pohybu není dostatečně kontrastní
- vysuňte páčku pro přepínání kamera/okulár (pokud je zasunutá, světlo jde pouze do okuláru)
- před vložením skla na stolek mikroskopu se přesvědčte, že stolek je dostatečně vzdálen od objektivu
- vložte cvičný preparát
- pro nalezení vzorku v zorném poli použijte objektiv s nejmenším zvětšením
- zaostřete na vzorek, vyměňte objektiv za větší zvětšení, doostřete

## Nastavení osvětlení

... je vhodné nejprve zkusit s objektivem s nejmenším zvětšením, vzorek musí být zaostřen

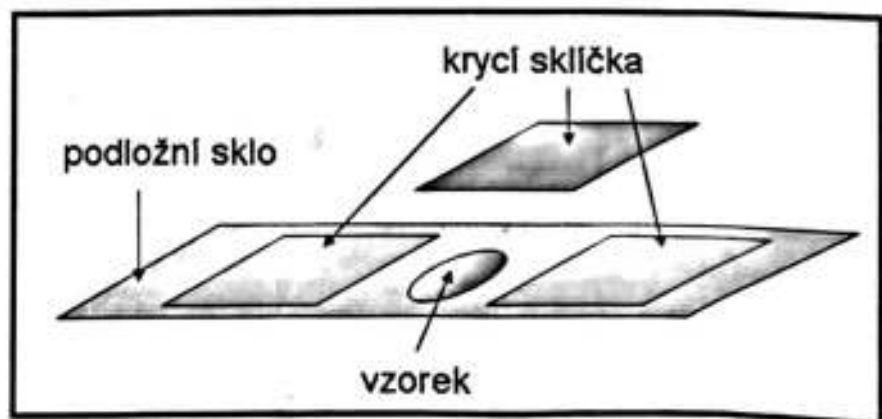
- maximálně zacloňte polní clonu
- posuvem kondenzoru zaostřete obraz clony
- otevřete polní clonu tak, aby právě lemovala kraj zorného pole v okuláru
- aperturní clonu nastavte na 80% hodnoty N.A. objektivu
- intenzitu osvětlení zvětšete na maximum (vede kratší expozici a tedy k vyšší frekvenci snímání kamerou)

## Tipy a triky

- zvýšení hloubky ostrosti – aperturní clonu zmenšit a prodloužit dobu expozice
- snadné nalezení a zaostření vzorku – před přípravou vzorku si udělejte fixou značku na podložní sklo

## Příprava vzorku

- na podložní sklo dejte dvě krycí sklíčka
- mezi krycí sklíčka kápněte malou kapku roztoku *Brown* a zakryjte třetím krycím sklíčkem
- pokud se kapka dostala pod krajní krycí skla, vzorek poteče – připravte si raději nový s opravdu malou kapičkou



## Program Motic Images

- pusťte program
- otevřete okno pro získání obrazu z mikroskopu (file/capture window)
- s cvičným vzorkem nastavte dobu expozice (pro počáteční nastavení volte offset a gain  $\sim 0$ ), potom upravte jas a kontrast (gain a offset), ostatní nastavení nechte pro začátek neaktivní
- stolek mikroskopu posuňte do dolní polohy, vložte připravený vzorek pro pozorování Brownova pohybu
- vzorek zaostřete
- upravte snímání obrazu
- zvolte vhodný výřez – vyznačte oblast v obraze + *ROI resume*
- zobrazení měřítka: *advanced setting – calibration table*
  - vybrat objektiv
  - zaškrtnout *zoom!!!*
  - zaškrtnout *scale bar* (délku a barvu lze upravit)
  - měřítko zkontrolujte pomocí kalibračního sklíčka, věnujte pozornost i výřezu

## Určení velikosti pozorovaných částic

- velikosti několika částic změřte na obrázku z elektronového mikroskopu
- přepočítejte s použitím měřítka snímku
- vyjádřete chybu měření





dioptrické seřízení okuláru

držák preparátu

stolek

zaostřování kondenzoru

seřízení odporu hrubého zaostřování

posuv stolku dolů

jemné zaostřování

hrubé zaostřování

# Program Brown

Program Brown umožňuje snadný záznam pohybu částice a výpočet středního kvadratického posunutí.

*pozn.: Pokud bliká okno programu Brown, zmáčkněte Alt+2 nebo Alt+1.*

- Průsvitnost okna lze měnit *posouvátkem* na spodním okraji.
- Celou snímací soustavu, kterou tvoří mikroskop s kamerou a monitor, je nutné ocejchovat pomocí kalibrační stupnice nebo měřítka v obraze (včetně použitého výřezu). Provádí se v nabídce *nastavení zvětšení*. Vzdálenost se zadává v  $\mu\text{m}$ . Po nastavení zvětšení již neměňte výřez, případně proveďte nastavení zvětšení znovu.
- Cejchování možné i po skončení snímání (např. pokud došlo ke změně výřezu).
- Pohybu částice ve zvolených časových intervalech se zaznamenává pomocí myši.
- Střední kvadratické posunutí vypočte program automaticky po zaznamenání 25 poloh částice. Zaznamenejte poloh co nejvíce!

## Nabídka

### *Soubor*

*Načíst* – načtení uložených souborů, možnost zadání nového měřítka

*Uložit* – měření průběžně ukládáte

*Tisk obou stránek protokolu* – tisk všech získaných údajů včetně grafů

*Vložit jméno a popis měření* – identifikace uživatele

### *Nastavení zvětšení*

*Krok 1:* Vyznačte pomocí myši koncové body kalibračního měřítka. (Případně upravte velikost formuláře.) – Použijte kalibrační sklo nebo měřítko softwaru mikroskopu, které jste předem zkontrolovali pomocí kalibračního měřítka.

*Krok 2:* Do vstupního pole запиšte délku kalibračního měřítka v mikrometrech. – Vstupní pole se nachází v levém spodním rohu okna.

### *Vkládání dat*

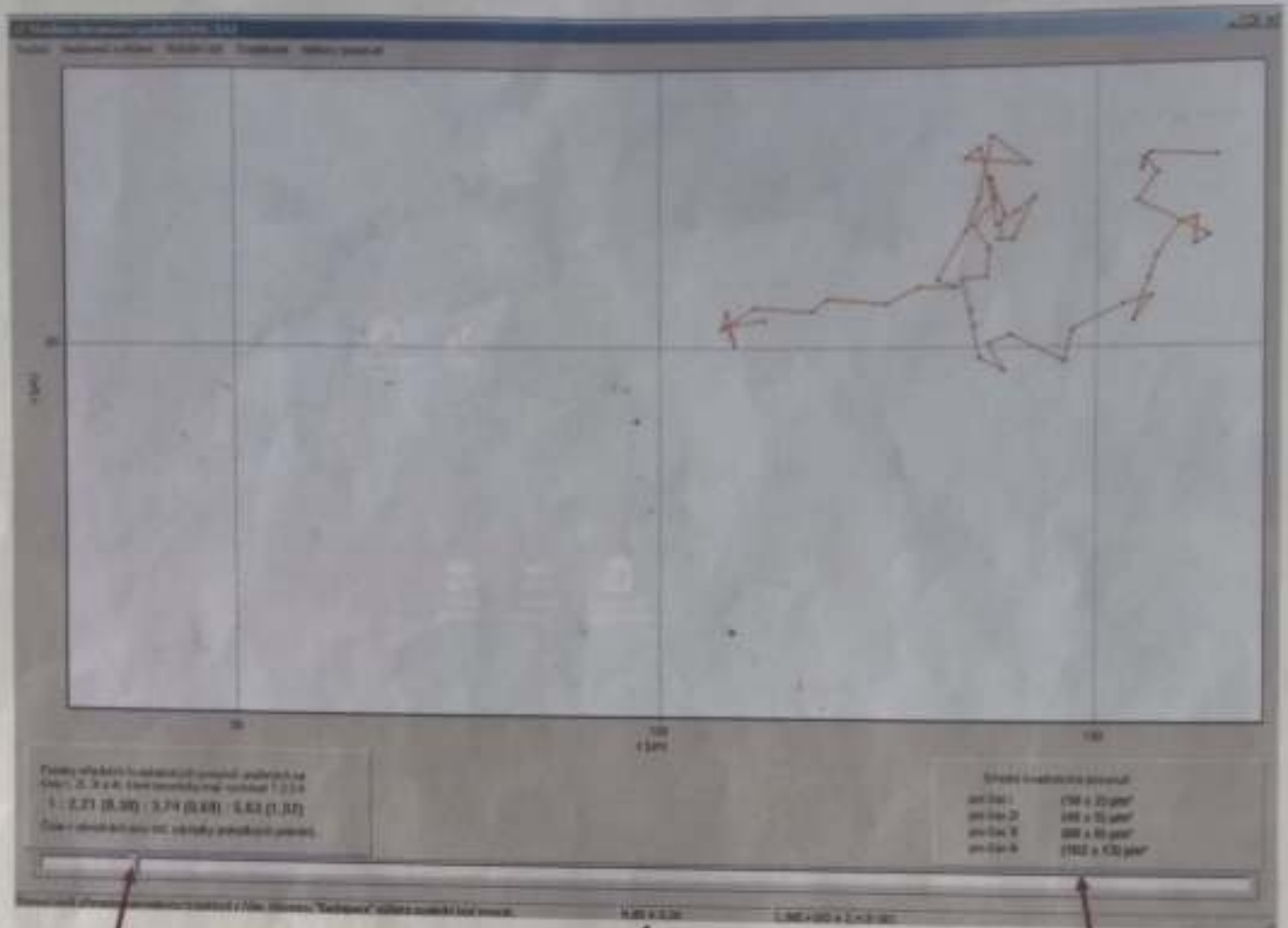
*Nová data* – ve zvoleném časovém intervalu, který udává zvukový signál, zaznamenávejte polohu částice.

### *Trajektorie*

Zobrazení trajektorie částice. Lze vytisknout v nabídce soubor – tisk obou stránek protokolu.

# Vektory posunutí

Zobrazení vektorů posunutí.



průsvitnost okna

časový interval

střední kvadratické posunutí