Univerzitet "Sveti Kiril i Metodij"- Skopje
Prirodno matemati~ki fakultet, Institut za fizika

Семинарска тема:

Брауново движење и експериментите на Перен

Izrabotil:

Jovanovski Janel
сдудент, втора година

Предмет:

Atomska i nuklearna fizika

Содржина

1. Научниците за Брауновото движење

Брауновото движење во никој случај не би можело да биде откриено пред откривањето на микроскопот и неговото усовршување. По откривањето на микроскопот Бифон (Georges de Buffon, 1707-1788) и Спаланцани (Lazzaro Spallanzani, 1729-1799), забележале вакво движење, но не би можело да им се забележи тоа што не го проучувале бидејќи работеле со непрецизни микроскопи. Дури во почетокот на 19 век, по усовршувањето на микроскопот е овозможено соодветно проучување на овој вид движење.

Браун (Robert Brown, 1773-1858) е уште еден од плејадата лекари, кој станува истакнат природонаучник. Од едно патување околу Австралија, кое траело 2,5 години, носи збирка од 3900 примероци на билки. Неговите исражувања започнуваат во 1827 година и првата билка која ја набљудувал се покажала погодна за проучување. Тоа е билката Clarckia pulchella чиј полен содржи необично големи честички од 5,08 $10^{-3}mm$ до 6,35 $10^{-3}mm$. Додека ги набљудувал овие честички, потопени во вода, забележал дека многу од нив се движат. Продолжува и понатаму да ги проучува билките но не само од овој вид туку и билки стари од еден век и билки потопени во шпирт. И тие се движеле исто некои позабележливо, некои помалку, но сепак се движеле. Ова го поттикнува да испитува нови видови материи и на свое големо изненадување, наоѓа движење и кај минералите, кои немаат никаква врска со органските тела. Доаѓа до заклучок дека движењето е општа особина на цврстите материи иситнети на многу мали делови и диспергирани во вода. Браун открива дека тие се наоѓаат во непрекинато хаотично движење. Сета своја истражувачка работа Браун ја објавува во 1828 година како посебна брошура: "Краток приказ на микроскопско набљудување извршено во јуни, јули и август 1827 година, за честичките кои се содржат во поленот на билките и за постоењето на активни молекули во органските и неорганските материи".

Брауновиот труд се игнорира следните три децении.

Во 1858г се појавува Рењоа со идејата дека ова движење е предизвикано од нерамномерното загревање која го предизвикува влезна светлина.

Во 1863 година Винер (Christian Wiener) заклучува дека таквото движење не може да биде предизвикано ниту од силите меѓу честичките, ниту од разликата на температурата. Тој смета дека молекулите на течноста вибрираат во ист правец како атомите на етерот кои се наоѓаат во нив, и тие невидливи вибрации на молекулата предизвикуваат видливо движење на најситните честички.

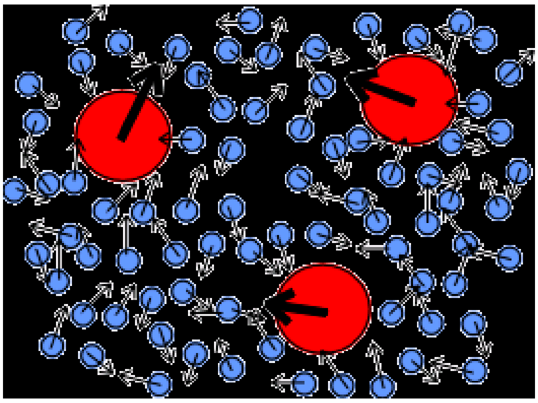
Во 1867 година Екснер (Carol Exner) наоѓа дека помалку честички побрзо се движат и сончевите и топли зраци ја зголемуваат брзината.

Карбонел (Ignace Carbonelle), Делсо (Joseph Delsaulx), Рамзеј (William Ramsay), на растојание од три години, независно еден од друг тврдат дека движењео на честичките е предизвикано од ударите на молекулите на течноста.

Гуи (Leon Gouy) во 1888 година објавува нови прецизни податоци од кои најважно е дека движењето е толку поинтензивно колку што вискозноста на течноста е помала и нејзината температура е поголема. Исто така тој наоѓа дека јачината на осветлувањето и електромагнетното поле не влијаат на движењето. Гуи тврди дека брзината на движењето на честичките е сто милиони пати помала од брзината на молекулите кои го предизвикуваат.

Во 1898 година Квинке (Georg Quincke) вели дека движењето е предизвикано од нерамномерната загреаност на делови течноста.

Во 1900 година Екснер изнесува дека брзината на честичките е обратно пропорционална со нивната величина и дека расте со зголемување на температура. Тој претпоставува дека кинетичката енергија на честичките треба да биде еднаква на кинетичката енергија на молекулите. На следнава URL адреса може да се види анимација на која многу добро и сликовите е прикажано Брауновото движење http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/brownian/brownian.html

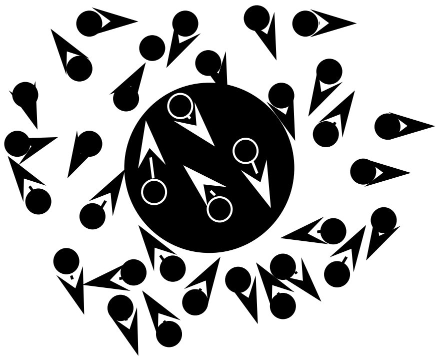


Сл1. и сл2. Скица на која е прикажано како изгледа Брауновото движење

За да се набљудува Брауновото движење обично се користат честички од обоени смоли, нерастворливи во вода. Тие честички вршат хаотично движење, кое никогаш не престанува. Со зголемување на температурата интензитетот на тоа движење расте. На пример, ако во специјално направена коцка за експериментот, исполнета со воздух, се внесе чад од цигара, под микроскоп може да се набљудува Брауновото движење на честичките од чадот на цигарата.

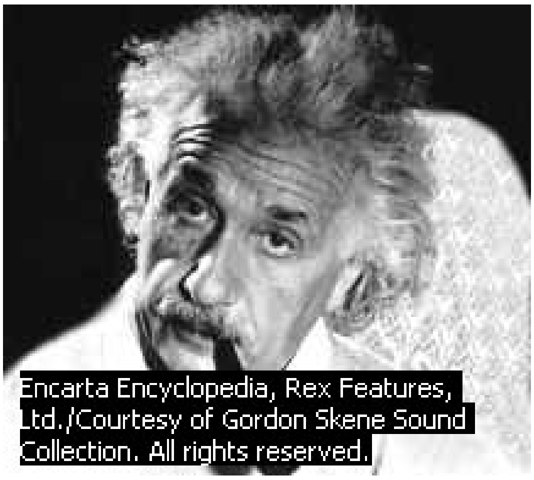
Објаснувањето на Брауновото движење може да се даде само врз основа на молекуларно-кинетичката теорија на супстанцијата. Воздухот (поточно неговите компоненти) се состои од молекули, кои се наоѓаат во непрекинато движење. Притоа тие молекули удираат во честичките на чадот од цигарата, брауновите честички, кои можат да се сметаат за џиновски молекули составени од огромен број на молекули. На слика 1 шематски е прикажана положбата на една браунова честица и најблиските кон неа молекули. При хаотичното движење на молекулите импулсите што тие им ги предаваат на брауновите честички, на пр.од лево на десно, не се еднакви. Заради тоа резултантната сила на притисокот е различна од нула, па таа предизвикува и промена на движењето на брауновата честица.

Сл.3



2. Ајнштајновото истражување за Брауновото движење

Пет години подоцна, по објавувањето на истражувањата на Екснер т.е во 1905 година, Алберт Ајнштајн го прави следново теориско истражување (независно од него такво истражување направил и Смолуховски):



сл.4 Алберт Ајнштајн

Флуктуациите на брауновата честичка е условена од дејството на сила F предизвикана од ударите на молекулите од средината која го условува нејзиното хаотично движење. Друга сила на честичката која дејствува е исто така и триењето f поради вискозноста на средината, што е насочена спротивно од насоката на силата F. Ако честичката има сферна форма со радиус *a,* тогаш силата на триење изразена со помош на формулата на Стокс ке изгледа вака:

$$f = 6\pi\eta av \quad , \quad (1)$$

каде што η е коефициент на вискозност на средината, а v е линиска брзина со која се движи честичката. Вториот Њутнов закон, тогаш се запишува во следниов облик:

$$m\ddot{\vec{r}} = \vec{F} - 6\pi\eta a\dot{\vec{r}} \quad , \quad (2)$$

каде што m е маса на честичката, а $\vec{r}$ е нејзин радиус-вектор во однос на произволен инерцијален координатен систем.

Со $< x >$ да ја означиме средната вредност на x -координатата на честичката. Тогаш отклонувањето на x од средната вредност $< x >$ се определува со Δx. Проектирајќи ја равенката (2) на x -оската, за флуктуацијата Δx ,се добива следната равенка:

$$m\frac{d^2}{dt^2}(\Delta x) = F_x - 6\pi\eta a\frac{d}{dt}(\Delta x) \quad , \quad (3)$$

каде што F_x е x -компонента на случајната сила.

Да го определиме отклонувањето Δx на брауновата честичка меѓу две нејзини насоки на движење. Бидејќи величината $\langle(\Delta x^2)\rangle$ е различна од нула, равенката (3) да ја трансформираме така што во неа да се појави величината (Δx^2) . За таа цел, левата и десната страна на (3) да ги помножиме со Δx . Се добива

$$m\Delta x\frac{d^2}{dt^2}(\Delta x) = \Delta x \cdot F_x - 6\pi\eta a\Delta x\frac{d}{dt}(\Delta x) \quad , \quad (4)$$

Ако ги искористиме очигледните равенства

$$\Delta x \cdot \frac{d^2}{dt^2}(\Delta x) = \frac{1}{2}\frac{d^2}{dt^2}(\Delta x^2) - \left(\frac{d}{dt}\Delta x\right)^2, \ \Delta x \frac{d}{dt}(\Delta x) = \frac{1}{2}\frac{d}{dt}(\Delta x^2)$$

равенката (4) може да ја препишеме во обликот

$$\frac{m}{2}\frac{d^2}{dt^2}(\Delta x^2) - m\left(\frac{d}{dt}\Delta x\right)^2 = -3\pi\eta a \frac{d}{dt}(\Delta x)^2 + \Delta x \cdot F_x, \quad (5)$$

Равенката (5) важи за секоја од диспергираните браунови честички. Затоа таа важи и за средните вредности на величините што во него влегуваат, ако тие се преместуваат во ансамбл кој содржи голем број честички. Следува

$$\frac{m}{2}\frac{d^2}{dt^2}\langle \Delta x^2 \rangle - m\left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta x\right)^2 \right\rangle = -3\pi\eta a \frac{d}{dt}\langle \Delta x^2 \rangle + \langle \Delta x \cdot F_x \rangle, \quad (6)$$

Средната вредност $\langle \Delta x \cdot F_x \rangle$ е еднаква на нула, затоа што x и F_x се независни случајни величини, поради што $\langle \Delta x \cdot F_x \rangle = \langle \Delta x \rangle \langle F_x \rangle = 0$. На тој начин, од (6) следува равенката

$$\frac{m}{2}\frac{d^2}{dt^2}\langle \Delta x^2 \rangle - m\left\langle \left(\frac{d\langle \Delta x \rangle}{dt}\right)^2 \right\rangle = -3\pi\eta a \frac{d}{dt}\langle \Delta x^2 \rangle \quad (7)$$

Бидејќи движењето на честичките е хаотично, следува

$$\left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta x\right)^2 \right\rangle = \left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta y\right)^2 \right\rangle = \left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta z\right)^2 \right\rangle$$

Од друга страна

$$\left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta x\right)^2 \right\rangle + \left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta y\right)^2 \right\rangle + \left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta z\right)^2 \right\rangle = \langle v^2 \rangle$$

Од последниве две равенства, следува

$$\left\langle \left(\frac{d}{dt}\Delta x\right)^2 \right\rangle = \frac{1}{3}\langle v^2 \rangle \quad (8)$$

Величината $m\langle v^2\rangle/2$ е средна кинетичка енергија на брауновата честичка. Во судирите со молекулите на средината во која се движи, таа си разменува енергија со нив, поради што се наоѓа во термодинамичка рамнотежа со молекулите на средината. Поради ова, средната кинетчка енергија на транслаторното движење на брауновата честичка е еднаква на средната кинетичка енергија на молекулите на средината која се определува со формулата (9). Следува дека

$$m\left\langle\left(\frac{d}{dt}\Delta x\right)^2\right\rangle=\frac{2}{3}\frac{m\langle v^2\rangle}{2}=kT\,, \qquad (9)$$

Од гледна точка на молекуларно-кинетичката теорија, брановата честичка може да се разгледува како џиновски молекула. Поради тоа што средната кинетичка енергија на брауновата честичка е еднаква со средната кинетичка енергија на молекулите на средината, а нивните маси се разликуваат доста, следува дека средната брзина со која се движи брауновата честичка е многу помала од средната брзина на молекулите на средината.

Со помош на (9), равенката на движењето (7) се записува во обликот:

$$\frac{m}{2}\frac{d^2}{dt^2}\langle\Delta x^2\rangle-kT=-3\pi\eta a\frac{d}{dt}\langle\Delta x^2\rangle\;, \quad (10)$$

Со помош на замената

$$\frac{d}{dt}\langle\Delta x^2\rangle=z \quad , \; (11)$$

Равенката (10) се доведува во облик на диференцијална равенка во која променливите се разделуваат:

$$\frac{dz}{z-\frac{kT}{3\pi\eta a}}=-\frac{6\pi\eta a}{m}dt \quad , \; (12)$$

Интегрирајќи ја левата страна од 0 до z, а десната страна од 0 до t, се добива

$$\ln\left(z-\frac{kT}{3\pi\eta a}\right)-\ln\left(-\frac{kT}{3\pi\eta a}\right)=-\frac{6\pi\eta a}{m}\cdot t\;, \quad (13)$$

од каде што следува

$$z=\frac{kT}{3\pi\eta a}\left(1-e^{-\frac{6\pi\eta a}{m}t}\right)=\frac{d}{dt}\langle\Delta x^2\rangle\;, \; (14)$$

Оценките покажуваат дека експонентата во заградите е мала величина во споредба со единицата, поради што може да се занемери. Во тој случај, од (14) се добива релацијата

$$\frac{d}{dt}\langle\Delta x^2\rangle=\frac{kT}{3\pi\eta a}\quad,\quad(15)$$

За конечни временски интервали Δt , и конечни среднoквадратни отклонувања $\Delta\langle\Delta x^2\rangle$, равенството (15) може да се запише во обликот

$$\frac{\Delta\langle\Delta x^2\rangle}{\Delta t}=\frac{kT}{3\pi\eta a}\quad,$$

од каде следи формулата

$$\Delta\langle\Delta x^2\rangle=\frac{kT}{3\pi\eta a}\cdot\Delta t\quad,\quad(16)$$

Да ја запишеме последнава равенка со помош на универзалната гасна константа R . За да го направиме тоа треба формулата да ја помножиме и поделиме со Авогадровиот број N_a . Тогаш изразот $kN_a=R$, па за конечната форма на равенката (16) добиваме

$$\Delta\langle\Delta x^2\rangle=\frac{RT}{3\pi\eta aN_a}\cdot\Delta t\ ,\ (17)$$

која покажува дека средната вредност од квадратот на отклонувањето на брауновата честичка за временски интервал Δt е пропорционална со тој интервал.

Формулата (16) може да се искористи за определување на болцмановата константа k , ако се познати вискозноста η на средината, нејзината температура T и радиусот на честичката a .

3. Експериментална потврда на Ајнштајновата теорија за Брауновото движење

Ајнштајновите работи им отвораат на експериментаторите предизвикувачки но, јасни перспективи, па не случајно во 1908 година се појавуваат три автора со проверки на Ајнштајновите квантитативни односи.

Седиг (R.Seddig) го проверува односот помеѓу поместување на честичките и вискозноста на течноста во која се наоѓаат, работејќи со раствор од цинобер во вода. Го набљудува поместувањето регистрирајќи две положби во растојание од 0,1 секунда на истата фотографска плоча. Тоа го прави на различни температури кога и вискозноста е различна. Неговиот резултат се разликува за 7% од теориските предвидувања, па може да се каже дека тоа го потврдува односот меѓу поместувањето и вискозноста.

Анри (V.Henri) користи филмска камера за следење на поместувањето, со цел да го провери неговиот однос со квадратниот корен од времето. Перен вели: “методот беше исправен и од значење како од прв пат употребен. Незнам каква грешка придонесе до неточни резултати".

Темелни, комплетни и успешни набљудувања направи францускиот физичар *Жан Перен* (Jean Perrin, 1870-1942), со низа свои млади соработници. Неговата работа е опишана во третиот и четвртиот том од книгата "Атоми" од Перен. Поради важноста на ова истражување ќе обрнеме поголемо значење и поподробно ќе го проанализираме.

4. Переновите експерименти

Перен беше тој што правилно заклучи дека сите величини во равенката на Ајнштајн можат да бидат измерени, па ако се познати нивните вредности може да се пресмета Авогардовиот број N_A - метод заснован на набљудувањето на поместувањето на брауновите честички.

Переновата оргинална идеја била експериментите да ги заснова на аналогија помеѓу однесувањето на суспензијата и идеалните гасови, која следи од Вантофовиот закон. Ако суспензијата се однесува како идеален гас, нејзината вертикална распределба треба да е слична со распределбата во атмосферата, која математички е дадена со барометарската формула. Бидејќи веќе ја наведовме Болцмановата работа сега ќе ја наведеме таа формула во облик

$$p = p_0 e^{-\frac{Mgz}{kT}} , \qquad (18)$$

Во равенката (18) p_0 е притисок на идеалниот гасот на висина $z=0$, M е моларната маса на идеалниот гас, k е Болцмановата константа и T е апсолутната температура на идеалниот гас. Со помош на оваа равенка е зададена зависноста на притисокот од висината z .

При анализирање на растворот погодно е да се пређе на броеви на честички во единица волумен n и треба да се води сметка за Архимедовиот закон, воведувајќи моларна маса на честица, така да распределбата е дадена со

$$n = n_0 e^{-Mgz/kT} , \qquad (19)$$

или

$$\ln\frac{n_0}{n} = \frac{Mgz}{kT} , \qquad (20)$$

Ж.Перен ја користи идејата, дека Брауновите честички се наоѓаат во топлотна рамнотежа со дадена средина (течноста или гасот), во која тие се движат. Затоа распределбата на диспергираните честци по висина се потчинува на истиот тој закон, како и распределбата по висини на молекулите на гасот, т.е на Болцмановиот закон, во полето на силата тежа:

$$n = n_0 e^{-\frac{E_p}{kT}} , \qquad (21)$$

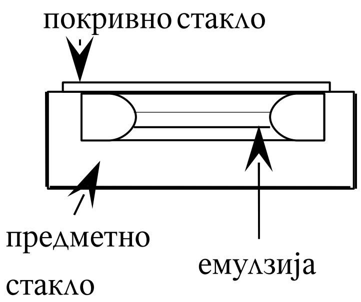
Со користење на оваа формула може да се пресмета Болцмановата константа k, а потоа и Авогардовиот број $N_A = R / k$.

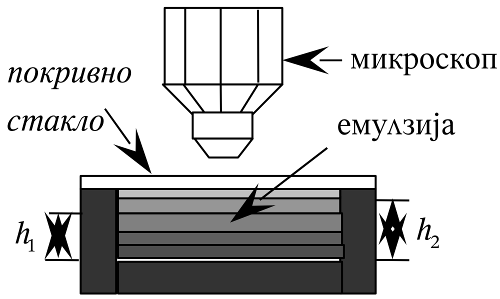
Од идејата до конкретна реализација води тежок пат, полн со препреки, чије совладување бара огромна интуиција, експериментално искуство и теориска припрема. Сето тоа го поседувал Ж.Перен.

5.Првиот метод на Перен

Подготвување на емулзија:

Пред да почне со своите експрериментални мерења, Перен развил техника за добивање на емулзии (од два вида на смоли) што ќе содржат топчиња со еднаков радиус. По долги испитувања Перен за експериментот ги избира гуми-гут и мастка, кои прво ги раствара во алхохол па ги разблажува со вода. Првиот дава жолта емулзија, а вториот бела, добро познати на љубителите на тој аператив во медитеранските земји. Таквите емулзии се покажале стабилни, бидејќи зрнцата не се слепуваат едно за друго, ниту за ѕидовите.
Зрната се со различни големини, па со макотрпен метод со фракционо центрифугирање, се издвои мало количество зрна со приближно иста големина.
Перен за тоа вели: “Во текот на мојата најгрижлива фракција преработив еден килограм гуми-гут, за да после неколко месеци добијам фракција која содржи неколку дециграми зрнца чиј пречник е приближен на оној што претходно го пресметав”.



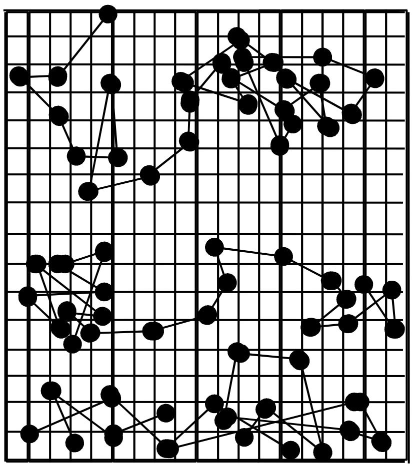


слика 5а ***слика 5б***

Радиусот на топчињата го мерел со примена на три различни методи, кои давале резултати што имале несогласување во границите од 1-2%. Со тоа со доволна точност била определена и масата на топчињата, бидејќи густината на смолата била веќе позната.

Густината на материјата на зрната, Перен ја мерел на три начина. Волуменот на зрната го мери исто така на три начина. Прво дирекно ги мери радиусите допуштајќи да на препаратската плочка на микрскопот испарува капка од многу разблажена емулзија. При крајот на испарувањето зрната се собираат во еден слој и се подредуваат во прилично правилни низи. Се брои колку зрна има долж дадената должина. Другиот начин е нешто слично со непосредно мерење на тежината на зрната. Третиот начин е да се мери средната брзина на паѓање на зрната и со помош на Стоковски закон се пресметува радиусот на зрната. Добил емулзии со дијаметар на честичките: 0,14μm ; 0,3μm; 0,29μm; 0,45μm; 0,212μm. Емулзијата на смолата ја поставувал во рамна кивета со длабочина 0,1mm . Киветата (сл.5) ја покривал со стакло, чии краеви за да се спречи испарувањто ги заливал со парафин. Ако се искористи микроскоп со мала длабочина на видното поле, тогаш во видното поле на микроскопот може да се види еден хоризонтален слој од препаратот со дебелина 1mm. Ограничувајќи го видното поле на микроскопот со помш на дијафрагма, може доста лесно веднаш да се избројат честичките што се гледаат, може да се опедели бројот на честичките, што се набљудуваат во видното поле на микроскопот во даден момент на времето и на дадена висина.

слика 6



Ќе проанализираме еден од оригиналните цртежи на Перен, претставен на сл.6 Пресметувањето на честичките не е праволиниско, туку се менува многу често по модул и насока. Ако се одбележуваат, преку еднакви временски интервали координатите x и y на некоја браунова честица (не водејќи сметка за нејзината вертикална насока) и така добиените точки да се сврзат со прави линии тогаш се добива една слика која многу потсетува на траекторијата на молекулата на гасот. Перен ги одбележувал преку еднакви временски интервали ($\Delta t = 30s$) последователните положби на една браунова честица и ги сврзувал со праволиниски одсечки (сл.6). На цртежот се претставени фиксирани патишта на три браунови честички. Должината на 16 клетки на цртежот одговара на 50 μm, а дијаметарот на брауновата честица е еднаков на 0,53 μm. На цртежот лесно може да се измери проекцијата на разгледуваните поместувања на брауновата честица, на пример, на хоризонталната оска X на кординатната мрежа. Потоа може да се пресмета вредноста на средниот квадрат на поместувањето $< \Delta x^2 >$ и по дадената формула да се најде Болцмановата константа k и Авогардовиот број N_A. Добиените вредности биле во добра согласност (во границите на грешките) со мерењата од другите методи. Перен нашол $N_A = 6{,}5\ 10^{23} mol^{-1}$.

6.Вториот метод на Перен

Препаратот го поставувал на столчето на микроскопот, внимателно поставен во хоризонтална положба. Користел објектив со многу силно зголемување со мала длабочина на фокусот така што едновремено било можно да се видат само честички, што се наоѓаат внатре во многу тенок хоризонтален слој со дебелина од редот на големина на еден микрометар. Со фокусирање на микроскопот на определен хоризонтален слој на емулзија, било можно да се определи бројот на честичките во тој слој (на таа висина). Потоа микроскопот се фокусира на друг слој (друга висина) и повторно се определува бројот на честичките во видното поле на микроскопот.

Бројот на зрна е мерен на нивоа чии висини се разликуваат за 30 микрони. Поради непрекинатото движење на зрната во видното поле не можат да се видат повеќе од пет зрна. Отварајќи и затварајќи го видното поле со засолнување броени се и обирани зрна на исто место по 200 пати. На тој начин може да се определи односот на концетрацијата n_1 / n_2 на различни висини. Разликата на висините се мерела со микрометарскиот винт на микроскопот. Ако n_1 и n_2 се измерените концетрации на честичките на висините h_1 и h_2 тогаш се добива:

$$n_2 = n_1 e^{\frac{\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho - \rho_T) g (h_2 - h_1)}{kT}}, \quad (22)$$

од каде може да се определи Авогадровиот број

$$N_A = \frac{3\,RT \ln \frac{n_1}{n_2}}{4\pi r^3 (\rho - \rho_T)\, g\,(h_1 - h_2)} \,, \qquad (23)$$

Тука ρ - е густина на смолата (од која се добиени брауновите честички), а ρ_T - е густина на течноста.

За да го ослаби дејството на слилата тежа, честичките "ги поместувал" во течност со многу малку помала густина на смолите (од кои се добиени самите честички).

Конечниот резултат бил добиен од Перен со користење на шест емулзии. Перен јавно се гордеел со онаа серија на мерења, во која користел емулзија на честички со радиус $r = 0,212\,\mu m$, при која изброил 1300 зрнца на четири нивоа и како резултат добил вредност $N_A = 7,05\ 10^{23} mol^{-1}$. Сумирањето на резултатите на резултатите од својата работа Перен го изразил на следниот начин: "*Атомската теорија триумфира. Многубројните нејзини противници признаваат дека се победени и еден по друг се откажуваат од таа недоверба, која долги години изгледала законита....*"([10]) Дури и истакнат противник на атомизмот, Оствалд, во 1908 год. ја прифаќа оваа теорија.

За двата прости и јасни методи на определување на Авогадровиот број, засновани на изучување на својствата и поведението на емулзиите, Перен во 1926 год. добил Нобелова награда.

Денешните вредности на Болцмановата константа k и Авогадровиот број N_A , се:

$k = (1,380622 \quad 0,000059)\ 10^{23} J\ \ K^{-1}$

$N_A = (6,022169 \quad 0,000040)\ 10^{23} mol^{-1}$

Авогадров број може да се определи и од други физички појави, на пример, по распоредот на радиоактивни супстанции, расејувањето на светлината, распределбата на енергијата во спектарот на апсолутно црни тела итн.

Ако се знае Авогадровиот број и моларната маса, тогаш може да се определи и масата на молекулата на дадена супстанција. По молекулниот волумен на течноста или тврдото тело може да се изврши процена и за волуменот на молекулата, а според тоа, и за редот на големината на дијаметарот на молекулот.

3.Заклучок

Движењето за кое стана збор, прв го набљудувал со микроскоп англискиот ботаничар Браун во 1827 година, проучувајќи го движењето на мали спори што биле диспергирани во вода. Тој открил дека спорите се наоѓаат во непрекинато хаотично движење. Понатамошните опити покажале дека движењето не е поврзано со билошкото потекло на честичките или со какво и да било микроскопско движење на течноста.

Резултатите од експериментите содржале определени неточности што не му дозволиле на Ајнштајн да ги спореди со теориските резултати што тој ги добил. Во 1909 година Перен направил прецизни мерења што целосно ги потврдиле резултатите од теориските истражувања на Ајнштајн. Едновремено тие му служеле да го определи Авогадровиот број.

За крај еден цитат од Ајнштан за Брауновото движење:

“Кога се откри вистината за Брауновото движење изненадно исчезна секое сомнение во веродостојноста за болцмановото сфаќање на термодинамичките закони. Стана јасно дека термодинамичката рамнотежа во конкретна смисла на зборот, воопшто не постои, и дека секој систем препуштен доволно долго самиот на себе, прави неодредени колебања околу состојбата на термодинамичка рамнотежа.” ([10]).

Перенови експерименти служат како важна демонстрација на постоење на атомите и важност на молекуларно кинетичка теорија на гасови. Сепак атомизмот е прилично соодветна претстава за супстанциите и воопшто за физичките закони.

Литература

[1] http://www.bun.kyoto-u.ac.jp/~suchii/brownianM.jpg

[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Brownian_motion

[3] http://galileo.phys.virginia.edu/classes/109N/more_stuff/Applets/brownian/brownian.htm

[4] http://www.pitt.edu/~jdnorton/Goodies/Einstein_stat_1905/Brownian%20motion%20anim.gif

[5] http://www.physics.uiowa.edu/adventure/spring_2005/brownian.gif

[6] Encarta Encyclopedia Deluxe 2003

[7] Ѓорѓи Ивановски: Механика и молекуларна физика, УКИМ ПМФ, Скопје (2006)

[8] Ѓорѓи Ивановски: Статистичка физика, УКИМ ПМФ, Скопје (2002)

[9] Musicki :Uvod u teorisku fizici (Statisticka fizika), Matematicki fakultet, Beograd (1987)

[10] Школа "Млади физичари", Институт за физика, ПМФ Скопје: Големите експерименти во физиката, Охрид (1995)