

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

Václav Posejpal

O konstituci látky a poměru hmoty a energie. [I.]

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 43 (1914), No. 1, 53--63

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121672>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1914

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

po vodě, lze stejně dobře udělití pohyb břehu a lodi klid. Psychologii zbývá jen objasniti, proč nikdy zlomek z pohybu neudělíme břehu a komplementární zlomek lodi.

Příkladu s lodí dovolával se kdysi Koperník veršem Vergilovým:

Provehimur portu, urbes montesque recedunt,

když hájil pohyb země. Zmiňuji se o tom zde, poněvadž veliký spor o soustavu Koperníkovu a Ptolemaiovu jest v podstatě své spor o princip relativnosti. Ptolemaiovcí tvrdili, že pohyb země by bylo znát, Koperníkovci tvrdili opak. Koperník se nedokonalou víc cítěnou než vědomou formulací principu jen hájil; bojoval jen o rovnoprávnost se soustavou obecně uznávanou. My pomocí úplné formulace principu, kterou máme od několika let, ctihodný 300letý spor rozsoudíme.

Kdyby se země netočila, měly by stálice rychlost větší, než jest rychlost světla, což nelze. Tak vyvodí se z principu relativnosti rotace země. Revoluce kol slunce prokazuje se z aberace světla, jež také jest projevem principu relativnosti.

Posledními poznámkami dostal jsem se však již mimo hranice pouhého sdílení principu. Kdo dokazuje, že pohyb rovnoměrný a přímočarý jest rovnocenný s klidem, ten již platnost principu dokazuje. To jest však thema příliš veliké pro doslov malé přednášky. Proto končím její prvou část.

(Dokontění.)

O konstituci látky a poměru hmoty a energie.

Dr. Václav Posejpal.

Chci v následujícím seznámiti laskavého čtenáře s některými pozoruhodnějšími zjevy experimentálního zkoumání fyzikálního hypotesy atomové, jakož i poněkud širě doložití zajímavý vztah, jež objevuje dnešní věda mezi hmotou a energií. Toho, kdo by chtěl podrobnějšího poučení o těchto věcech, upozorňuji zvláště na spis „Les idées modernes sur la constitution de la matière, Paris 1913“, jehož jsem částečně použil.

§ 1. Atomy a molekuly.

Základním prvkem moderního nazírání na konstituci látky jest klassický názor o její atomové struktuře a sice v té formě, jak jej zpracovala během svého rychlého vývoje vědecká chemie. Pomocí představy o atomech a z nich utvořených molekulách dovede chemie pohodlně sledovati neb předpovídati chemické reakce, vysvětlovati a chápati vlastnosti jimi vytvořených produktů. Nedovede však atomů a molekul se zmocniti individuálně, nedovede udati ani přibližně ničeho o jejich tvaru, velikosti, váze atd. Její atomové a molekulové váhy jsou jen čísla relativní. Ba chemie atomů a molekul konečně ani nepotřebuje, jak to způsobem tak pozoruhodným dokázal náš professor Wald, tak že představa o atomové struktuře látky zůstává pro chemii pouhou hypotesou, atom a molekula jest pohodlným, ne však nezbytným nástrojem jejího hledání.

Poněkud jinak má se věc ve fysice Kinetická theorie plynů, pohyby Brownovy, opalescence, modro nebe, vedení elektřiny, zjevy radioaktivity, záření tepelné a světelné atd. nedají se dobře zmociti bez představy o atomové struktuře látky. Nad to dovoluje většina těchto zjevů zmocniti se atomů a molekul individuálně, stanoviti jejich absolutní velikost, hmotu. Děje se tak pomocí tak zvaného *čísla Avogadrova*. Význam tohoto čísla jest jednoduchý. Jak známo, nazýváme *gramatomem* množství nějaké chemicky stejnorodé látky, obsahující tolik gramů, kolik činí její atomová hmota, a obdobně jest *grammolekula* množství tolika gramů, kolik činí molekulová hmota té látky. Na př. gramatom kyslíku činí 16 *gr*, jeho grammolekula 32 *gr*. Jest přirozeno, že u sloučenin možno mluvití jen o grammolekulách. Z pojmu atomových a molekulových hmot plyne, že gramatomy a grammolekuly všech látek obsahují týž počet atomů, respektive molekul, jenž jest tedy universální konstantou hmoty, označuje se *N* a sluje *číslo Avogadrovo*. Známe-li *N*, stanovíme snadno absolutní hmoty jednotlivých atomů a molekul. Na př. hmota atomu kyslíku jest $\frac{16}{N}$ *gr*, molekuly vody $\frac{18}{N}$ *gr* atd.

Jest svrchovaně zajímavým faktem a mocnou oporou představy atomové, že výsledky, k nimž vedou výpočty čísla *N* na

základě tak různorodých jevů, jak byly svrchu naznačeny, souhlasí uspokojivě v mezích chyb pozorovacích. Výsledky tyto, jak jsou dnes stanoveny, podává následující přehled:

F y s i k á l n í j e v	$\frac{N}{10^{22}}$	
Kinetická theorie plynů pomocí viskozity plynů a rovnice van der Waalsovy	62	
Pohyby Brownovy {	Rozdělení hustoty zrn	68,3
	Pohyb translační zrn	68,8
	Pohyb rotační	65
	Diffuse	69
Nepravidelné rozdělení hustoty molekul {	Opalescence při kritickém tlaku a teplotě	75
	Modro oblohy	60
Náboj mikroskopického prachu	64	
Radioaktivnost {	Náboj α paprsků	62,5
	Hmota vyvinutého helia	65
	Hmota zmizelého radia	71
	Vyzářená energie	60
Emisní spektrum černého tělesa	64	

Vedlo by mě příliš daleko, kdybych chtěl i jen stručně se zmínit o methodách a podrobnostech výpočtů, jež u každého z vyjmenovaných fyzikálních jevů stanovení čísla N umožnily. Methody ty jsou tak rozmanité, vycházejí od fakt tak různorodých, že mnozí fyzikové vidí v tom dobrém souhlase hodnot pro Avogadrovo číslo N , k němuž vedou, nepochybný důkaz reálnosti molekul. Atom a molekula jím není hypotésou, ale faktem. Hledíme-li pak na věc s tohoto stanoviska, bude nás nejvíce zajímati ten fyzikální jev, který dovede tomuto stanovisku poskytnouti největší opory. Majíce věřiti v reálnost molekul, chtěli bychom je viděti. To však jest holá nemožnost. Jest totiž průměr molekul řádu 10^{-8} *cm*, jejich postupná rychlost ve stavu plynném za obyčejné teploty řádu několika set metrů za sekundu a volná dráha dané molekuly mezi dvěma srážy s jinými molekulami za barometrického tlaku řádu jedné deseti-

tisíciny millimetru. Letí tedy na př. molekula vzduchu atmosférického rychlostí vystřeleného projektilu, probíhá v přímé dráze mezi dvěma srázy s jinými molekulami sotva jednu desetitisícinu millimetru, tak že její dráha se zlomí za sekundu vícekrát, než jest pět tisíc millionů.

Avšak se stanoviska fysikálního nemusíme pojem molekuly omezovati jen na molekuly chemické. Uvažujme takto: Dle kinetické theorie hmoty jsou molekuly plynů a kapalin v ustavičném pohybu postupném a rotačním. Střední kinetická energie pohybu postupného jedné a téže molekuly jest rovna střední kinetické energii jejího pohybu rotačního a hodnota w této energie jest dána výrazem

$$w = \alpha T, \quad (1)$$

kdež α jest konstanta nezávislá na povaze molekuly, T absolutní teplota plynu neb kapaliny. Nezávisí tedy tato energie na povaze molekuly, v dané směsi plynů neb kapalin jest stejná pro molekuly malé jako velké, stejná pro molekulu vodíku jako pro molekulu cukru, složenou ze 45 atomů, neb molekulu siranu chininového, obsahující přes 100 atomů. Ovšem jest pak postupná a rotační rychlost těžkých molekul za téže teploty daleko menší než molekul lehkých.

Platí-li však hořejší zákon pro tak velké molekuly, jako siran chininový, platí zajisté i pro větší ještě komplexy molekulové, a my jsme se stanoviska kinetické theorie oprávněni i tyto komplexy, pokud na molekulárních pohybech se účastní a jmenovaným zákonem se řídí, čítati mezi molekuly. Dosáhne-li velikost jejich rozměrů mikroskopických, mohli bychom jejich pohyby, které vzhledem k jejich značné velikosti budou zajisté jen velmi zvolné, sledovati v mikroskopu, čili jinými slovy, mohli bychom tedy molekuly přímo viděti. A vskutku jest to splněno a molekulární pohyby takových mikroskopických tělísek umístěných v kapalinách neb plynech nesou jméno pohybů Brownových.

Ovšem, objevení pohybů Brownových stalo se docela jinou cestou, než jaká jest dána předchozí úvahou. Brown, botanik anglický, objevil je brzy po sestrojení achromatických objektivů r. 1827 v kapalinách, zcela náhodně. Později byly objeveny i v plynech. Povaha zjevu jest známa. Pozorujeme-li mikroskopicky kapku na př. vodní, obsahující mikroskopická tělíška

(zrněčka gummigutty, mastixu neb i čínské tuši), shledáme, že některá z nich, právě ta největší, leží klidně na dně. Ta, která jsou menší, jsou suspendována v kapalině a to buď na jednom místě, jsou-li ještě dosti velká, při čemž se stále jaksi chvějí, aneb, jsou-li dosti malá, pohybují se s místa na místo. Pohyby tyto jsou zcela nepravidelné: tělísko jde vpřed, vrací se, stoupá, klesá, krouží atd. bez konce, bez uklidnění. Jeho pohyb jest úplně nezávislý na pohybu částěček sousedních, trvá neustále, ať kapalinu sebe více chráníme před otřesy a pohyby mechanickými vůbec i před nerovnoměrností teploty. Brownovy pohyby se dají přesně odlišiti od pohybů, jež způsobuje proudění, nezávisí na intenzitě osvětlení preparátu, na povaze a specifické hmotě tělísek, nýbrž jen na jejich velikosti. Jsouce tím živější, čím částěčky jsou menší. Pohyby ty existují ve všech kapalinách a při dané teplotě a velikosti tělísek rozhoduje pouze viskositá kapaliny, čím tato jest menší, tím jsou pohyby živější.

Trvalo to velmi dlouho, než fysikové pohyby Brownovy uznali a subsumovali pod hledisko, z něhož jsme vyšli. Prvním byl Chr. Wiener, jenž r. 1863 prohlásil, že zdrojem Brownových pohybů nejsou ani částěčky samy ani nějaká příčina vnější, mimo kapalinu ležící, nýbrž že pochází od molekulárních pohybů kapaliny, charakterisujících stav kapalný. Poněvadž však Wiener své závěry podával v souvislosti s dosti neurčitými úvahami o vzájemné akci atomů hmoty a atomů étheru, zůstaly téměř neznámy, a objasnění podstaty pohybů Brownových v našem smyslu stalo se způsobem jasným a rozhodným teprve v letech 1877 a následujících. Zásahu o to mají Francouzi Delsaulx a Carboneille. Právě zcela určitě, že velké těleso v kapalině suspendované nedozná od jejích molekulárních pohybů žádné výsledné síly z té jednoduché příčiny, že rázy molekul kapaliny jsou po jeho velkém povrchu rozloženy tak dalece stejnoměrně, že se navzájem ruší. Je-li však povrch tělesa menší, než kolik jest třeba, aby nerovnoměrnost v rozdělení těchto rázů molekulových byla kompensována velikostí povrchu, bude tělísko podléhati v každém okamžiku se strany těchto rázů jistému výslednímu tlaku, jehož směr i velikost se budou stále měniti.

Jsou-li tedy se stanoviska molekulárně kinetické theorie pohyby Brownovy sourodým zjevem s pohyby molekulárními

plynů a kapalin, musí studium těchto pohybů vésti ke kontrole zákonů, které kinetická theorie předpisuje pohybům molekulárním. A právě překvapující výsledky tohoto studia to jsou, které vedou k tomu, že molekuly jsou zbaveny své hypotetické povahy a prohlašovány za realitu, o jejíž existenci nelze pochybovat. První a největší zásluhu o dobytí těchto výsledků má professor pařížské Sorbonny J. Perrin. O jeho práci v tomto směru jsem u nás už referoval (viz Živa, 21. p. 261, 1911).

Jeho postup jest v podstatě dvojitý: První, velice originální a zcela samostatná cesta opírá se o statické vlastnosti Brownových emulzí, dané rozdělením hustoty těchto tělísek v dané kapalině, druhá o vlastnosti kinetické, o zákony pohybu tělísek, odvozené Einsteinem.

§ 2. Stanovení Avogadrova čísla N z rozdělení hustoty tělísek Brownových.

Jest logické a žádoucí podrobiti Brownovy pohyby před započítím jakéhokoliv měření obtěžkáci zkoušce, jež by rozhodně a nesporně prokázala jejich identitu s pohyby molekulárními. Takovou zkoušku Perrin také nejdříve provedl následovně:

Van't Hoffova theorie zředěných roztoků přivedla, jak známo, k poznání, že původ osmotického tlaku nutno hledati v molekulárních pohybech látky rozpuštěné tak, že tento tlak je právě takový, jaký by za téže teploty způsobovala rozpuštěná látka, kdyby ve stavu plynném zaujímala prostor rozpustidlem vyplněný. A z toho důsledek, že stejný počet jakýchkoliv molekul v zředěném roztoku kapalném neb i plynném uzavřen do stejného objemu vykonává za stejné teploty stejný tlak. Jinými slovy molekuly rozpuštěné látky ve zředěném roztoku se řídí zákony platícími pro dokonalé plyny. Víme však, že v dokonalém plynu vzniká působením tíže zcela určité rozdělení hustoty a tlaku, vypočtené poprvé Laplaccem a snadné k stanovení, jde-li o sloupec plynný stálé teploty.

Uvažujme takový sloupec s horizontálním průřezem 1 cm^2 . Vyřízneme-li v něm kdekoli dvěma vodorovnými rovinami hranolek výšky dh , bude tlak na svrchní základně hranolku p , na

spodní $p + dp$. Poněvadž hranolek ani nestoupá, ani neklesá, jest patrnó, že přetlak na spodní stěně nese váhu plynu v hranolku, tedy

$$dp = -g dm,$$

je-li dm hmota hranolku. Označíme-li v objem grammolekuly plynu M při téže teplotě a tlaku p , platí úměra

$$dm : M = dh : v$$

t. j. hmoty dm a M jsou v poměru svých objemů a tedy

$$dp = -g \cdot \frac{M}{v} dh$$

aneb, poněvadž pro dokonalé plyny platí

$$p \cdot v = RT,$$

kdež R jest známá plynová konstanta $83 \cdot 2 \cdot 10^6$ c. g. s. a T absolutní teplota, máme

$$\frac{dp}{p} = -\frac{Mg}{RT} \cdot dh.$$

Integrací vychází

$$\log_n \frac{p_0}{p} = \frac{Mg}{RT} \cdot h, \quad (2)$$

při čemž jest p_0 tlak na spodním nivéau, p tlak na svrchním a h jejich vzdálenost. Přepsáním (2) máme

$$p = p_0 e^{-\frac{Mg}{RT} \cdot h}, \quad (2')$$

jež praví, že pokaždé, kdykoliv vystoupíme o stejnou výšku h , klesne tlak na týž zlomek, na př. na polovici. Aby se tak stalo na př. u kyslíku při $0^\circ C$, bylo by třeba vystoupiti pokaždé o 5 km. U vodíku, jehož M jest 16krátě menší, bylo by třeba vystoupiti o obnos 16krátě větší, tedy o 30 km.

Dle téhož zákona řídí se tedy i rozdělení tlaku osmotického v zředěném roztoku, a je-li náš předpoklad o podstatě pohybů Brownových správný, rozdělení tlaku osmotického, jež tato tělíška způsobí v dané emulsi. Ovšem, poněvadž molekuly plynu neb rozpuštěné látky jsou mezi sebou identické, nutno předpokládati emulsi s tělísky rovněž identickými. Je-li m hmota jednoho z těchto tělísek, bude jejich grammolekula dána výrazem Λm ,

kdež N jest číslo Avogadrovo. Vliv tíže zemské nutno zmenšiti o vztlak kapaliny, v níž tělíška jsou, tedy místo g třeba psáti $\left(1 - \frac{\delta}{\Delta}\right)g$, značí-li Δ specifickou hmotu tělíšek a δ příslušné kapaliny. Konečně, poněvadž při téže teplotě jest tlak plynu přímo úměrný počtu molekul v témž objemu, možno poměr $\frac{p_0}{p}$

nahraditi poměrem $\frac{n_0}{n}$, kdež tedy bude n_0 a n značiti počet tělíšek připadajících na týž objem dole a nahoře studované vrstvičky výšky h .

Tím tedy přejde rovnice (2) v rovnici

$$\log_n \frac{n_0}{n} = \frac{N}{RT} m \left(1 - \frac{\delta}{\Delta}\right) gh. \quad (3)$$

Poněvadž ovšem hmota každého tělíška m jest mnoho millionkrát větší než hmota molekuly vodíku a tudíž také jejich grammolekula tolikrát větší než grammolekula vodíku, nutno očekávati, že výška, na které bohatství emulze na tělíška klesne na polovici, bude v témž poměru menší.

Výsledek splnil veškerá očekávání. Hned po vložení preparátu pod objektiv mikroskopu lze konstatovati, že tělíška jsou rozptýlena po kapalině celkem stejnoměrně. Brzy však objeví se vliv tíže a spodní vrstvy stávají se na tělíška bohatší, vrchní chudší. Po nějakém čase, asi tak za hodinu, dostaví se rovnovážný stav, který, pokud teplota se nemění, trvá. Snížíme-li však teplotu, poruší se toto konečné rozdělení, spodní vrstvy na tělíška zbohatnou. Uvedeme-li emulsi poznovu na teplotu původní, vystoupí část tělíšek a dostaví se rozdělení původní. K tomuto kvalitativnímu potvrzení našeho očekávání přistupuje potvrzení kvantitativní. Rovnice (3) jest vždy v mezích pozorovacích chyb splněna

Tak na př. udává Perrin pro serii velice pečlivých měření, ve které koncentrace tělíšek v různých výškách byla stanovena na základě spočtení více než 13.000 tělíšek, následující výsledek. Tělíška kulová gummigutty, o poloměru 0.212μ pozorovaná v nádobce s vodou hloubky 100μ ve výškách

$$5 \mu, 35 \mu, 65 \mu, 95 \mu,$$

vykazovala koncentraci úměrnou číslům

100, 47, 22·6, 12.

Tato čísla málo se liší od čísel

100, 48, 23, 11·1,

jež tvoří řadu geometrickou (s kvocientem 0·48), a tedy praví, že stoupnutím o 30 μ , t. j. o 30 tisícín millimetru, klesne koncentrace tělísek na 0·48, t. j. něco málo více než na polovici. Kdyby koncentrace měla klesati dle přímky, vedlo by to k číslům 100, 71, 42, 13. Jest tedy zcela zřetelně viděti platnost exponenciálního zákona, daného rovnicí (3).

Pro tělíška gummigutty poloměru 0·29 μ klesne koncentrace na polovici již stoupnutím o pouhých 10 μ , o poloměru 0·367 μ o 6 μ a o poloměru 0·6 μ o 1·5 μ ! Vidíme, jak úžasné malé jsou tyto výšky proti výšce 30 *km.* již jsme shledali u vodíku, a můžeme tedy z toho souditi, jak úžasně velkou jest hmota jednoho tělíška *m* proti hmotě molekuly vodíkové.

Jest tedy očekávání naše splněno, tělíška v emulsi se chovají vůči tíži jako atmosféra. Její molekuly jsou ovšem obrovské, lze je viděti, zředění do výše pokračuje tudíž nesmírně rychle, co ve vzduchu jest výškou Alp, to zde činí několik tisícín millimetru. Není podstatného rozdílu mezi molekulami vodíku a tělísky Brownovými, jich pohyb jest pravý pohyb molekulární. Z rovnice (3) můžeme pak stanoviti Avogadrovo číslo *N*. Vzhledem k tomu, že tělíška jsou kulová, jest nejpohodlnější stanoviti jejich hmotu *m* změřením jejich poloměru *a* a tedy objemu *V* a specifické hmoty *A*. Tedy položíme $m = VA$ a dostaneme pro *N* výraz:

$$N = \frac{RT \log_n \frac{n_0}{n}}{V(A - \delta)gh}. \quad (4)$$

Při tom lze podmínky pokusu co nejrozmanitěji měniti. Lze měniti libovolně *V* (vzítí tělíška malá neb velká), rozdíl $A - \delta$ libovolnou volbou kapaliny neb látky tělísek, konečné teplotu *T*. Tím způsobem provedl Perrin celkem 10 řad měření, jež udává následující přehled:

$$N = \frac{RT \log_n \frac{n_0}{n}}{V(\Delta - \delta) gh}$$

Teplota t a viskozita ζ kapaliny	Emulze	$V \cdot 10^{15}$	$\Delta - \delta$	$\frac{N}{10^{22}}$
Teplota síně 20°—24°, kapalinou voda visko- sity kolem $\zeta = 0.01$ $\zeta = 125.0 \cdot 0.01$ $t = -9^\circ$, $\zeta = 2.0 \cdot 0.01$ $t = 58^\circ$, $\zeta = \frac{1}{2} \cdot 0.01$	I. Gummigutta (druh těžký), řada předběž.	13	0.25 až 0.35	50 až 70
	II. Zrna obdobná	100	0.30	65
	III. Zrna méně hustá . .	115	0.21	75
	IV. Zrna obdobná . . .	370	0.21	72
	V. Mastix sražený z alko- holu	610	0.063	70
	VI. Gummigutta	40	0.207	70.5
	VII. Gummigutta sražená z alkoholu	206	0.1967	68.3
	VIII. Zrna obdobná v gly- cerinu (12 ^o / _o glyce- rinu ve vodě)	242	(záporné) — 0.0314	72
	IX. Zrna obdobná ve vodě přechlazené	225	0.196	71.7
	X. Táž zrna ve vodě teplé	225	0.21	72

Vidíme, že až na serii I., jež jest předběžná a v níž spec. hmota zrn nebyla přesně stanovena, podávají všechny ostatní serie výsledky velice dobré. Při tom uvažme, že poměr krajních abs. teplot, při nichž pracováno, byl 1 : 1.25, krajních zdánlivých spec. hmot + 10 : — 1, poměr objemů tělísek 1 : 48 a konečně poměr viskozit kapalin 1 : 250! Nejpečlivěji byla provedena serie VII., při níž spočteno na 13.000 zrn a z níž vzata i data poněkud výše uvedená. Abychom si uvědomili, jak ohromný úspěch představy molekulové znamená dobrý výsledek těchto měření, uvažme, že před vykonáním jich by nikdo byl nepovažoval za odvážné tvrditi, že rozdíl v koncentraci tělísek jest naprosto k zanedbání při nepatrné výšce několika tisícín millimetru. Tento předpoklad však vede pro N k číslu neko-
nečně malému. Kdybychom však předpokládali, že zrna, jež jsou

značně těžší než kapalina, v níž jsou, klesnou konečně po dostatečně dlouhé době všechna ke dnu, zdál by se také tento předpoklad zcela pravděpodobným, vedl by však pro N k číslu nekonečně velkému.

Že pak tedy z tohoto obrovského intervalu od 0 do ∞ , a priori možného, měření přinesla výsledek, jenž jest v naprostém souhlase s výsledky jinde a jinak nalezenými, dodává hypotese molekulární, jíž zde užito tak bezprostředně, povahy nepochybné jistoty.

Měl bych se ještě zmíniti o způsobech, jimiž si Perrin zjednal data, potřebná pro vyčíslení pravé strany rovnice (4). Ač jest to velice zajímavé, přejdu to mlčením, poněvadž jde v podstatě o věci rázu laboratorně technického a vzhledem k cíli tohoto pojednání významu podřízeného. Toliko snad bych mohl krátce naznačiti, jak se dělo vyčíslování poměru $\frac{n_0}{n}$. Tento poměr jest samozřejmě roven průměrné hodnotě poměru z počtů zrn, které lze najednou uviděti v mikroskopu v jednom a druhém niveau. Avšak stanovití tento počet, jdoucí do set, přímým sečtením jest vzhledem k ustavičnému pohybu zrn zcela nemožno. Pokud poloměr zrn není menší než 0.5μ , lze užiti cesty fotografické. V případě opačném užil Perrin následujícího způsobu. Ohniskovou rovinu okuláru zaclonil lístkem pozlátka, propíchnutým uprostřed jemným kruhovým otvorem. Tím se zorné pole tak zúží, že v něm je současně viděti jen několik málo zrn. Jejich počet lze jediným pohledem stanovití, pokud není větší než 5 neb nanejvýše 6. Když tomu tak jest, zařídí se zdroj, osvětlující preparát, na zatemňování a pouští se jeho světlo jen na krátko v určitých stejných intervalech. Při každém osvětlení se počet zrn zjistí a zapíše, výsledek pak několika set odečtení sečten udává počet zrn, která by se průměrně zjistila na zorném poli tolikrátě větším, kolik učiněno odečtení.

(Pokračování.)