ATOMOVÁ

A

JADERNÁ FYZIKA

PŘEDPOKLÁDANÝ OBSAH :

EXISTENCE ATOMŮ

MODEL ATOMU

KVANTOVÁ MECHANIKA

REÁLNĚJŠÍ MODEL ATOMU

1. BLOK

MOLEKULA

JÁDRO

RADIOAKTIVITA

ZÁKLADNÍ ČÁSTICE A ZÁKLADNÍ INTERAKCE

ENERGETICKÉ ZDROJE

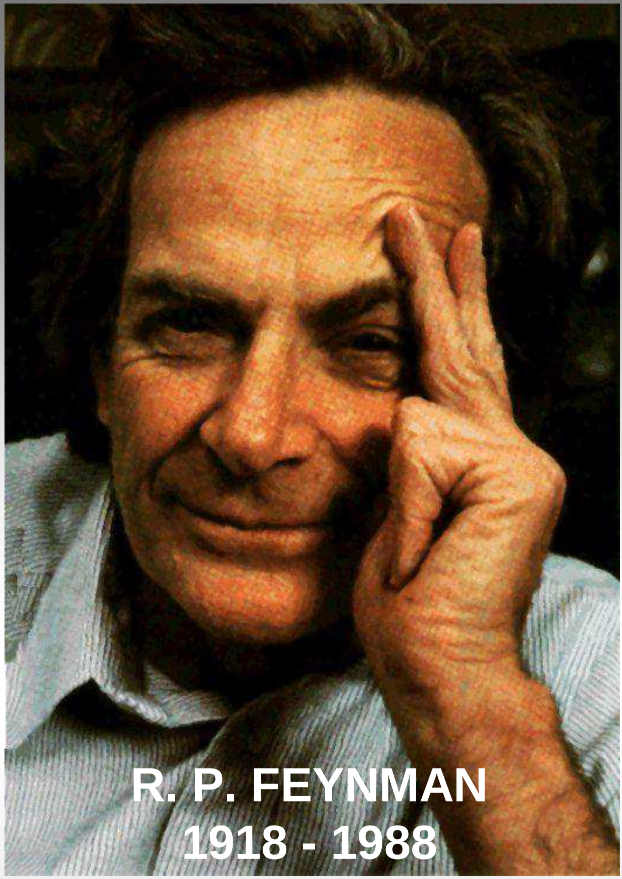
VODA, VÍTR, SLUNCE

ŠTĚPNÁ REAKCE

JADERNÁ FÚZE

2. BLOK

KDYBY PŘI NĚJAKÉ KATASTROFĚ ZANIKLY VŠECHNY VĚDECKÉ POZNATKY A DALŠÍM GENERACÍM BY MĚLA ZŮSTAT JEN JEDINÁ VĚTA, KTERÉ TVRZENÍ BY PŘI NEJMENŠÍM POČTU SLOV OBSAHOVALO NEJBOHATŠÍ INFORMACI ? JSEM PŘESVĚDČEN, ŽE JE TO ATOMOVÁ HYPOTÉZA (NEBO ATOMOVÝ FAKT, NEBO JAK TO CHCETE NAZVAT), ŽE VŠECHNY VĚCI SE SKLÁDAJÍ Z ATOMŮ – MALÝCH ČÁSTIC, JEŽ JSOU V NEUSTÁLÉM POHYBU VZÁJEMNĚ SE PŘITAHUJÍ, KDYŽ JSOU OD SEBE TROCHU VZDÁLENÉ, ALE ODPUZUJÍ SE, KDYŽ JSOU TĚSNĚ U SEBE. V TÉTO JEDINÉ VĚTĚ, JAK UVIDÍTE, JE OBSAŽENO NESMÍRNÉ MNOŽSTVÍ INFORMACÍ O SVĚTĚ: JE K TOMU TŘEBA JEN TROCHU PŘEDSTAVIVOSTI A UVAŽOVÁNÍ.



EXISTUJÍ ATOMY ?!

IDEA :

LEUKIPPOS (-500 ?, -440 ?)

DÉMOKRITOS (-460 ?, - 370)

V ŘECKU

A – MOŽNÁ NEZÁVISLE

KANÁDA (mezi -6. a -1. st.)

V INDII

LEUKKIPOS -500? – -440?

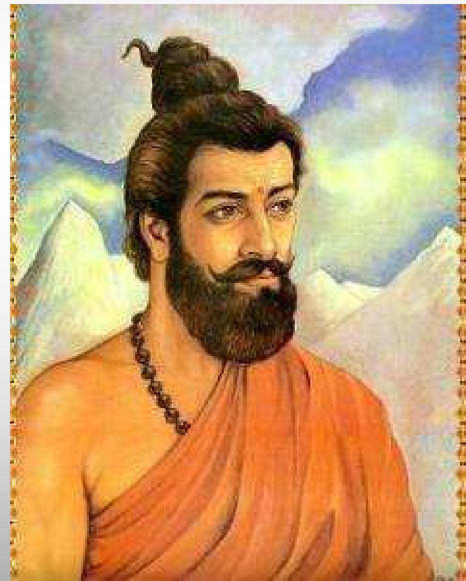
DÉMOKRITOS -460? – -370

POČÁTKY VŠEHO JSOU ATOMY A PRÁZDNÝ PROSTOR, VŠECHNO OSTATNÍ JE DOMNĚNKA. SVĚTŮ JE NEOMEZENÉ MNOŽSTVÍ, VZNIKAJÍ A ZANIKAJÍ. NIC NEVZNIKÁ Z NIČEHO A NEZANIKÁ V NIC. ATOMY JSOU NEOMEZENÉ CO DO VELIKOSTI A POČTU, JSOU UNÁŠENY VE VESMÍRU VÍŘIVÝM POHYBEM A TAKTO VYTVÁŘEJÍ VŠECHNY SLOŽENINY, OHEŇ, VODU, VZDUCH A ZEMI, NEBOŤ I TYTO ŽIVLY JSOU SPOJENÍM URČITÝCH ATOMŮ. ATOMY JSOU NEPORUŠITELNÉ A NEMĚNNÉ PRO SVOU TVRDOST. SLUNCE A MĚSÍC JSOU SLOŽENY Z TAKOVÝCH HLADKÝCH A OKROUHLÝCH TĚLÍSEK STEJNĚ JAKO DUŠE, TA JE TOTOŽNÁ S ROZUMEM. MY PAK VIDÍME TÍM, ŽE NÁM PADAJÍ DO OČÍ OBRÁZKY. VŠE SE DĚJE PODLE NUTNOSTI, PROTOŽE PŘÍČINOU VZNIKU VŠEHO JE VÍR, KTERÝ SE NAZÝVÁ NUTNOST. CÍLEM JE DOBRÁ MYSL; NENÍ TOTOŽNÁ S ROZKOŠÍ, JAK TO NĚKTEŘÍ PŘEVZALI, ANIŽ TOMU ROZUMĚLI, NÝBRŽ JE TO STAV, V NĚMŽ ŽIJE DUŠE KLIDNĚ A PEVNĚ, NEJSOUC ZNEPOKOJENA ŽÁDNÝM STRACHEM NEBO NĚJAKOU JINOU VÁŠNÍ. NAZÝVÁ SE TÉŽ SPOKOJENOST I MNOHA JINÝMI JMÉNY. JAKOSTI VĚCÍ JSOU PODLE DOHODY, OD PŘÍRODY JSOU JEN ATOMY A PRÁZDNO.

Díogenés Laertios

परमाणु - Paramāṇu

ANU JSOU VĚČNÉ, NEZNIČITELNÉ
A BEZ POHYBU.
JSOU DISKRÉTNÍ A NEVNÍMATELNÉ.
MAJÍ MINIMÁLNÍ MOŽNOU VELIKOST.
SPOJUJÍ SE DO DVOJIC, TROJIC,
ATD. (dvyaṇuka, tryaṇuka…).
TY PAK TYPEM POHYBU VYTVÁŘEJÍ
ZÁKLADNÍ ATOMICKÉ LÁTKY:
ZEMI, VODU, OHEŇ A VZDUCH.



KANĀDA

JEDNALO O „METAFYZICKOU“ KONCEPCI

OBECNÝ PROBLÉM – DĚLITELNOST A MOŽNOST ZMĚNY – A „POSTINTERPRETACE“ ZKUŠENOSTI

VĚDA VYŽADUJE PŘESNĚJŠÍ FORMULACI – KONTROLOVATELNOST VÝVODŮ – A SCHOPNOST PŘEDPOVĚDĚT NĚKTERÉ POZOROVANÉ VÝSLEDKY

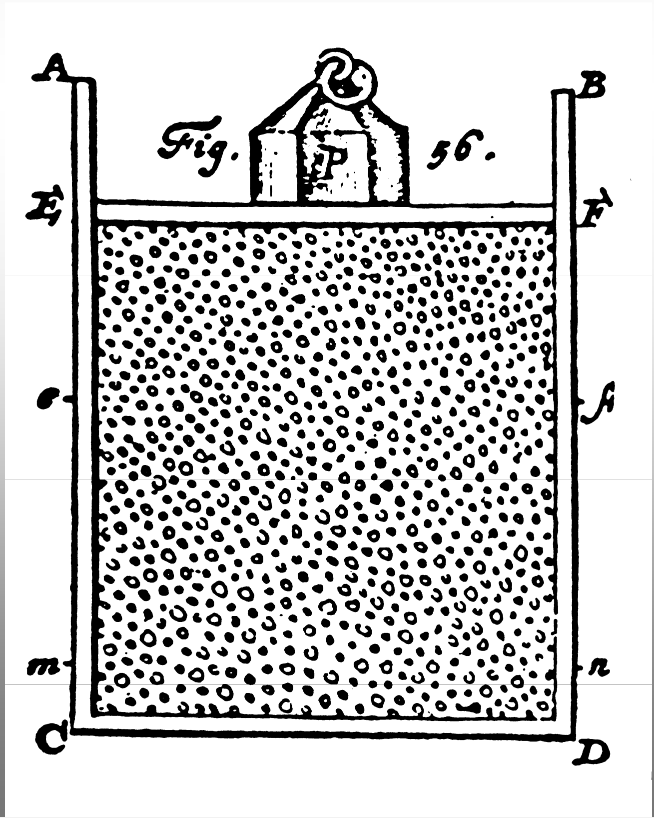
K SOUČASNÉ ATOMÁRNÍ TEORII VEDLY 2 CESTY –
FYZIKÁLNÍ = BERNOULLIHO
a CHEMICKÁ = DALTONOVA

POČÁTEK KINETICKÉ TEORIE (1738)

BUDIŽ TLAK PŘI POLOZE PÍSTU V *E* ROVEN *P*,
A PŘI POLOZE *e* ROVEN *p*

NECHŤ $eC/EC = s$

TLAK SE ZVĚTŠÍ ZVĚTŠENÍM POČTU ČÁSTIC
U PÍSTU A ZVĚTŠENÍM FREKVENCE SRÁŽEK



POČET ČÁSTIC U PÍSTU JE $1/s^{2/3} \times$ VĚTŠÍ

FREKVENCE SRÁŽEK JE VĚTŠÍ O FAKTOR
$(D - d)/(Ds^{1/3} - d)$, D = STŘEDNÍ VZDÁLENOST
ČÁSTIC, d = ROZMĚR ČÁSTICE

CELKEM $p/P = (D - d)/(Ds - ds^{2/3})$

PRO $d \ll D$: $p/P = 1/s = V/v$
BOYLEŮV-MARIOTTEŮV ZÁKON

NAVÍC : TLAK JE ÚMĚRNÝ KVADRÁTU
RYCHLOSTI – VÍCE SRÁŽEK A SILNĚJŠÍCH

KINETICKÝ VÝKLAD TLAKU

Tlak = střední výsledek nárazů molekul na stěnu

Uvažme dutinu tvaru kvádru s plynem.

Potřebujeme :

změnu hybnosti při nárazu 1 částice s rychlostí v : $\Delta p = 2\, m v_x$ (stěna kolmá na osu x)

dobu mezi nárazy : $\Delta t = 2\, l_x / v_x$ **(l_x - vzdálenost stěn ve směru x)**

Odtud střední síla od 1 částice : $F_1 = \Delta p / \Delta t = m v_x^2 / l_x$

Celková síla je proto $F = \Sigma F_i = m / l_x . \Sigma v_x^2$.

Protože $\Sigma v_x^2 = 1/3. \Sigma v^2 = 1/3 N W^2$

(Směry jsou rovnocené, W = střední kvadratická rychlost),

je tlak $p = F/S = 1/3\ m/l_x l_y l_z . N W^2$,

($S = l_y l_z$ **= velikost stěny)**

a tedy $pV = 1/3\ mNW^2$

($V = l_x l_y l_z$ **)**

Střední energie 1 částice $\varepsilon = 1/2\ mW^2$,

celková $E = N \varepsilon = 1/2\ NmW^2$.

Tedy též $pV = 2/3\ E$.

POROVNÁNÍ SE STAVOVOU ROVNICÍ

Pro 1 mol platí : $pV = 2/3\ E = RT$

(R = 8.31451 J/(mol K) - molární plynová konstanta)

Teplota plynu je tedy úměrná jeho střední kinetické energii.

Tepelné jevy interpretujeme na základě pohybu částic !

PŘENOS ČÁSTIC

Jev : difuze

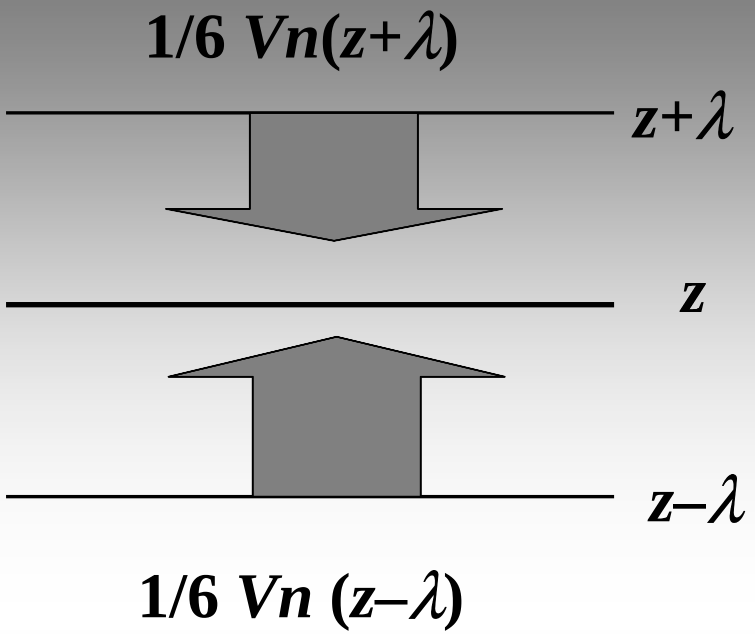
Experiment : tok částic J je úměrný gradientu koncentrace, tj. $J_z = -D\partial n/\partial z$ (D = koef. difuze)

Zachování počtu částic : $\partial n/\partial t = -\partial J_z/\partial z$

Uvážíme-li, že koncentrace c je úměrná hustotě částic n, dostaneme odtud základní rovnici difuze

$$\partial c/\partial t = D\,\partial^2 c/\partial z^2$$

Exp hodnota pro N_2 : 1.32 x 10^{-5} m^2/s



Jednoduchý krönigovský model : toky 1/6 nV v orientovaných směrech

V daném případě ze $z+\lambda$ a $z-\lambda$.

V je střední rychlost a λ střední volná dráha.

Dostaneme : $J = 1/6\ Vn(z-\lambda) - 1/6\ Vn(z+\lambda)$

$$= -\,1/3\ V\lambda .\ \partial n/\partial z$$

tj. $\color{red}{D = 1/3\ V\lambda}$

DALTONOVA TEORIE (1803)

PRVKY SE SKLÁDAJÍ Z ATOMŮ.

ATOMY DANÉHO PRVKU JSOU STEJNÉ.
(SPECIÁLNĚ MAJÍ STEJNOU VÁHU)
ATOMY RŮZNÝCH PRVKŮ RŮZNÉ.

SLOUČENINY VZNIKAJÍ SPOJENÍM
(MALÉHO POČTU) ATOMŮ.

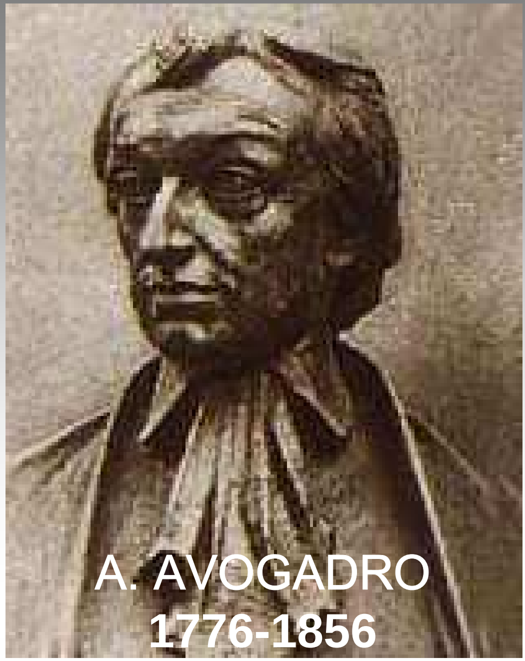
Důsledek 1 : POMĚRY HMOTNOSTÍ PRVKŮ
TVOŘÍCÍCH SLOUČENINU JSOU STÁLÉ.

Joseph
PROUST

Důsledek 2 : VYTVÁŘÍ-LI PRVKY VÍCE
SLOUČENIN, JSOU POMĚRY VÝSKYTU
DANÉ LÁTKY DANÉ MALÝMI CELÝMI ČÍSLY.

EXISTUJE-LI JEDNA (PODVOJNÁ)
SLOUČENINA JE TYPU AB, JSOU-LI DVĚ,
JSOU TYPU AB A A_2B NEBO AB_2, ATD.

JOHN DALTON
1766-1844



POŘÁDEK MEZI ATOMY (A MOLEKULAMI) POMOHL NAJÍT A. AVOGADRO SVÝM ZJIŠTĚNÍM (1811), ŽE

STEJNÉ OBJEMY PLYNŮ OBSAHUJÍ ZA STEJNÝCH PODMÍNEK STEJNÉ MNOŽSTVÍ MOLEKUL

POMĚR VODÍKU A KYSLÍKU 2 : 1 PŘI SLUČOVÁNÍ NA VODU NAZNAČUJE, ŽE MOLEKULA VODY MÁ SLOŽENÍ H_2O A NE HO

AVOGADROVU KONSTANTU URČIL J. J. LOSCHMIDT 1865

STANDARDNÍ MNOŽSTVÍ LÁTKY – VŮČI 1 g VODÍKU, PAK 16 g KYSLÍKU a DNES 12 g UHLÍKU - = MOL

PŘÍSLUŠNÉ HMOTNOSTI JSOU MOLÁRNÍ HMOTNOSTI

POČET ATOMŮ V MOLU JE DÁN AVOGADROVÝM ČÍSLEM N_A

USPOŘÁDÁNÍ PRVKŮ PODLE MOLÁRNÍ HMOTNOSTI VEDE K MENDĚLEJEVOVĚ SOUSTAVĚ PRVKŮ

D. I. MENDĚLEJEV
1834 - 1907

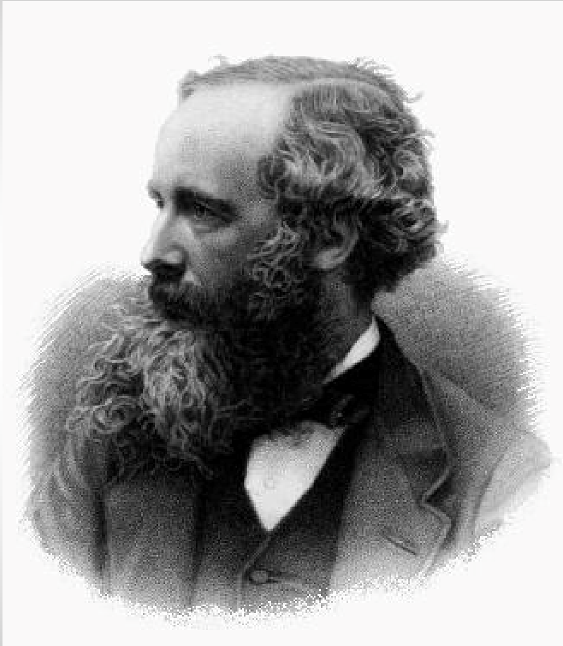
STATISTICKÝ POPIS
RYCHLOSTÍ MOLEKUL V PLYNU (1857)

PŘEDPOKLADY :

HOMOGENITA SYSTÉMU :
NEZÁVISLOST NA POLOZE

IZOTROPIE : ZÁVISÍ JEN
NA VELIKOSTI RYCHLOSTI ,
RESP. KVADRÁTU RYCHLOSTI

ODTUD PRPOD. RYCHL. = $P(V^2)$



J. CLERK MAXWELL
1831 - 1879

NEZÁVISLÁ ROZDĚLENÍ SLOŽEK $p(V_x^2)$ …

ODTUD : $P(V^2) = p(V_x^2).\ p(V_y^2).\ p(V_z^2)$

A $\ln P(V^2) = \ln p(V_x^2) + \ln p(V_y^2) + \ln p(V_z^2)$

ODTUD : ln P, resp. ln p jsou lineární funkce V^2, resp. V_x^2…

$P(V^2) = A^3 \exp(-\alpha V^2)$, $p(V_x^2) = A \exp(-\alpha V_x^2)$,…

ZÁPORNÝ KOEFICIENT KVŮLI NEKONEČNU

NORMOVÁNÍ
(CELKOVÁ PRAVDĚPODOBNOST 1) DÁ $A = \sqrt{(\alpha/\pi)}$

HODNOTU α URČÍME POMOCÍ STŘEDNÍ ENERGIE

$$\langle \varepsilon \rangle = \langle \tfrac{1}{2} m V^2 \rangle = \tfrac{1}{2} m A^3 \int V^2 \exp(-\alpha V^2)\, d^3V = 3m/4\alpha$$

POROVNÁNÍM S $\langle \varepsilon \rangle = 3/2\ N/R\ T = 3/2\ k_B T$

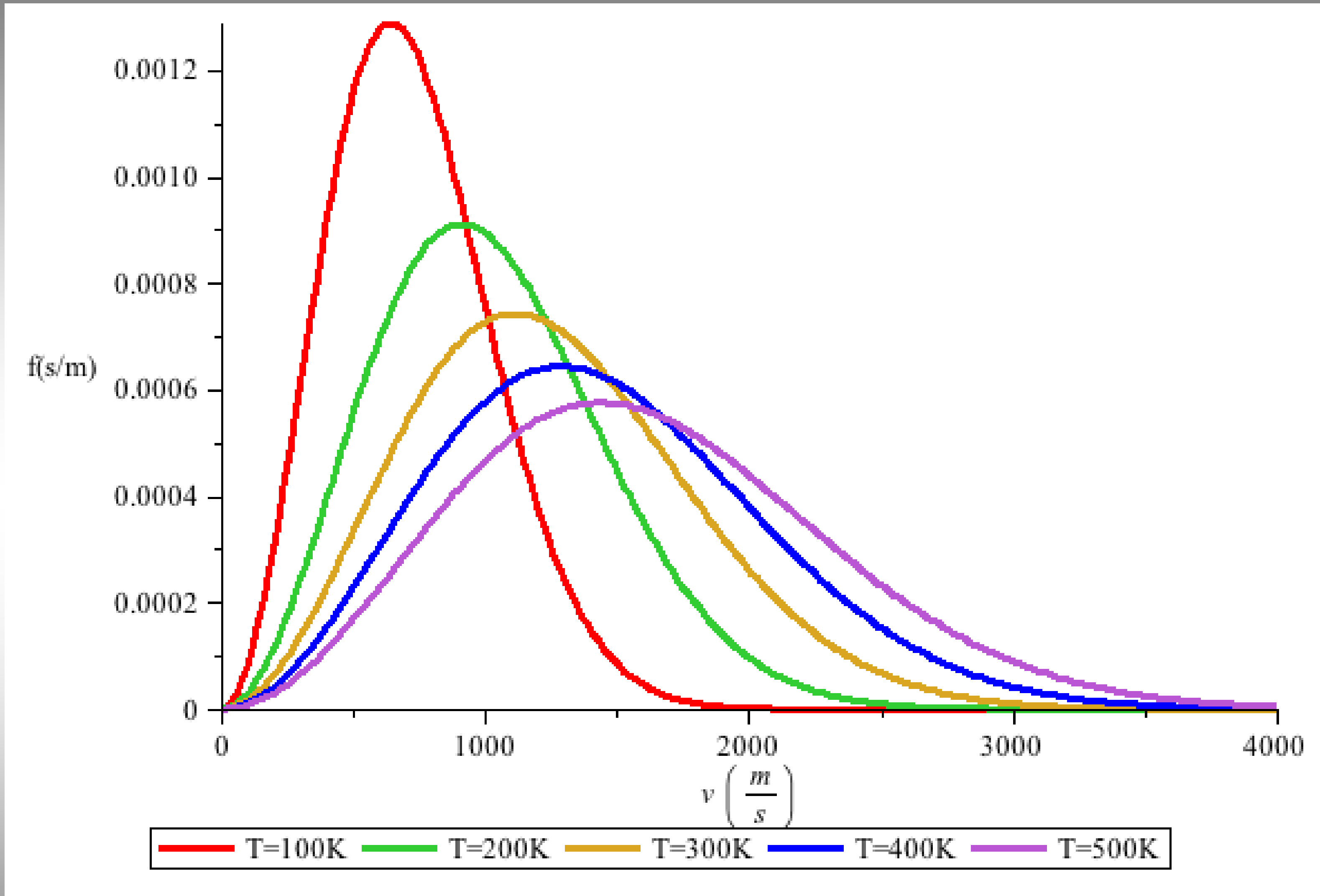
$$\alpha = m/2k_B T$$

A

$$P(V^2) = (m/2\pi k_B T)^{3/2} .\ \exp(-\tfrac{1}{2} m V^2 / k_B T)\, d^3V$$

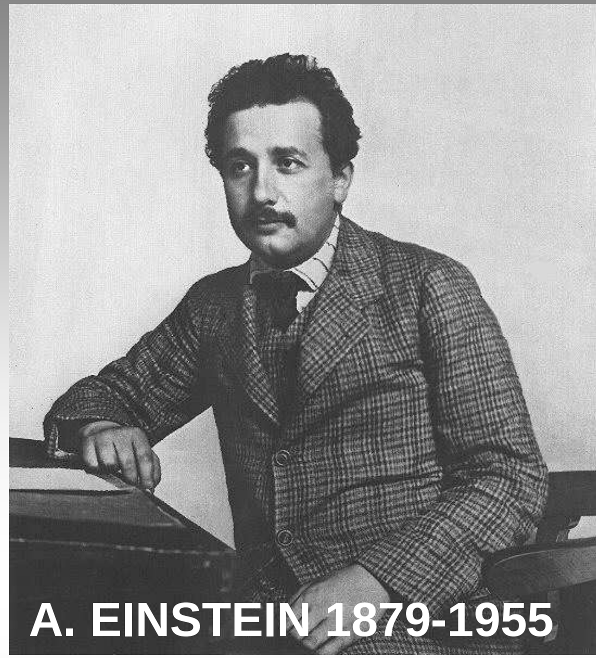
JE TO SPECIÁLNÍ PŘÍPAD $P(E) \sim \exp(-E/k_B T)$

tzv. GIBBSOVA ROZDĚLENÍ



Maxwellovo rozdělení pro atomy He

TEORIE BROWNOVA POHYBU (1905)



PRAVDĚPODOBNOST VÝSKYTU ČÁSTEČKY V KAPALINĚ SPLŇUJE ROVNICI DIFUZE

$$\partial p/\partial t = D\, \partial^2 p/\partial z^2 \,.$$

TATO ROVNICE MÁ ŘEŠENÍ

$$p(z, t) = 1/2\sqrt{(\pi D t)}.\exp(-z^2/4Dt),$$

Z NĚHOŽ VYPLÝVÁ STŘEDNÍ URAŽENÁ VZDÁLENOST ROVNÁ

$$\sqrt{\langle z^2 \rangle} = \sqrt{\int z^2 p(z) dz} = \sqrt{(2Dt)} \,.$$

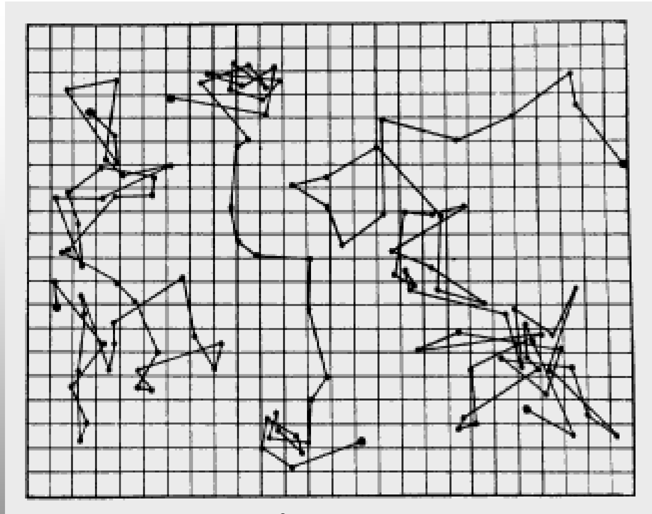
NAVÍC UŽIT VZTAH PRO KOEFICIENT DIFUZE $D = RT/N.1/6\pi\, r\, \eta$, KDE R JE PLYNOVÁ KONST., T TEPLOTA, N AVOGADROVO ČÍSLO, r POLOMĚR ČÁSTEČKY A η VISKOZITA PROSTŘEDÍ.

VYJDE : ČÁSTICE O ROZMĚRU 1 μm URAZÍ VE VODĚ ZA 1 s cca 1 μm.

O EXISTENCI ATOMŮ PŘESVĚDČIL VĚDECKOU KOMUNITU JEAN PERRIN

1908-1913 ZKOUMAL BROWNŮV POHYB
A POTVRDIL TEORII EINSTEINA-SMOLUCHOWSKIHO

J. PERRIN
1870-1942



PERRINŮV DIAGRAM
BROWNOVA POHYBU

V ŘADĚ POKUSŮ URČIL
ROZMĚR ATOMU
cca 0.1 nm
A AVOGADROVO ČÍSLO
cca 6.8×10^{23} mol^{-1}

AVOGADROVO ČÍSLO N_A

PERRIN

6.8×10^{23} PLYNOVÉ EMULZE
6.2×10^{23} KAPALNÉ EMULZE
6.0×10^{23} FLUKTUACE KONCENTRACE V EMULZI
6.4×10^{23} POSTUPNÝ BROWNŮV POHYB
6.5×10^{23} OTÁČIVÝ BROWNŮV POHYB

JINÍ

7.5×10^{23} OPALESCENCE – KEESOM
6.5×10^{23} MODROST OBLOHY – BAUER, BRILLOUIN, PAK FOWLER
6.4×10^{23} ZÁŘENÍ ČERNÉHO TĚLESA
6.1×10^{23} ZE ZNALOSTI ELEMENTÁRNÍHO NÁBOJE – MILIKAN
$6.2 – 7.0 \times 10^{23}$ ZE ZKOUMÁNÍ ALFA ROZPADU

PRŮMĚR $6.5 \pm 0.4 \times 10^{23}$

SOUČASNÉ HODNOTY ATOMÁRNÍCH KONSTANT
(CODATA 2010 srov. s 2002)

AVOGADROVO ČÍSLO : 6.022 141 29(27) $\times$ 10^{23} mol-1
6.022 141 5(10)

ATOMÁRNÍ HMOTNOST : 1.660 538 921(73) $\times$ 10^{-27} kg
1.660 538 86(28)

STANDARDNÍ HUSTOTA PLYNŮ PŘI 273.15 K A 101.325 kPa :
z roku 2002 - 2.686 7773(47) $\times$ 10^{25} m^{-3}

STANDARDNÍ MOLÁRNÍ OBJEM : 22.413 968(20) $\times$ 10^{-3} m^{3} mol^{-1}
22.413 996(39)

BOHRŮV POLOMĚR : 0.529 177 210 92(17) $\times$ 10^{-10} m
0.529 177 2108(18)

JSOU ATOMY ATOMY ?

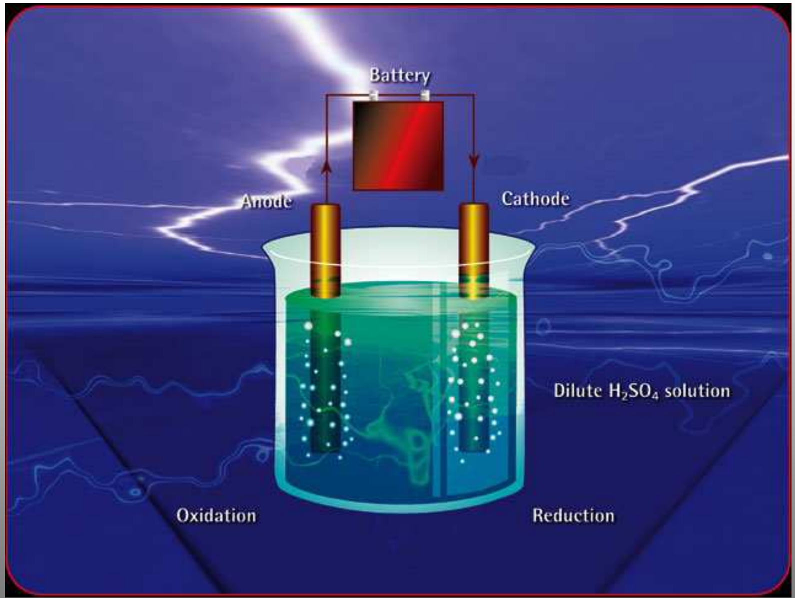
JSOU B-ATOMY RESP.
D-ATOMY L-ATOMY ?

B-ATOMY JSOU
MOLEKULY, D-ATOMY ?

NAVÍC NABITÉ F-ATOMY

MNOŽSTVÍ VYLOUČENÉ LÁTKY PŘI ELEKTROLÝZE JE ÚMĚRNÉ PROŠLÉMU NÁBOJI

M. FARADAY
1791-1867



MODEL :

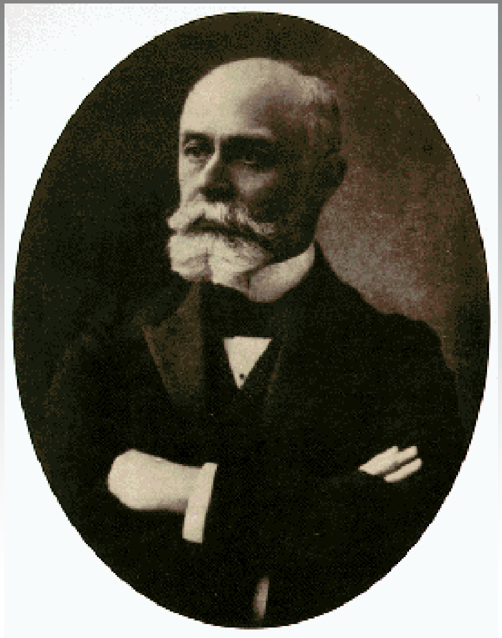
$$M = N.m \;,\;\; Q = N.ze$$

M = HMOTNOST,
N = POČET ATOMŮ,
m = HMOTNOST ATOMU,
Q = NÁBOJ,
z = POČET ELEM. NÁBOJŮ,
e = ELEMENTÁRNÍ NÁBOJj

ODTUD : $M = m/ze.Q$

D-ATOM NENÍ ATOM ?!

1896 - RADIOAKTIVITA



BECQUEREL 1852-1908

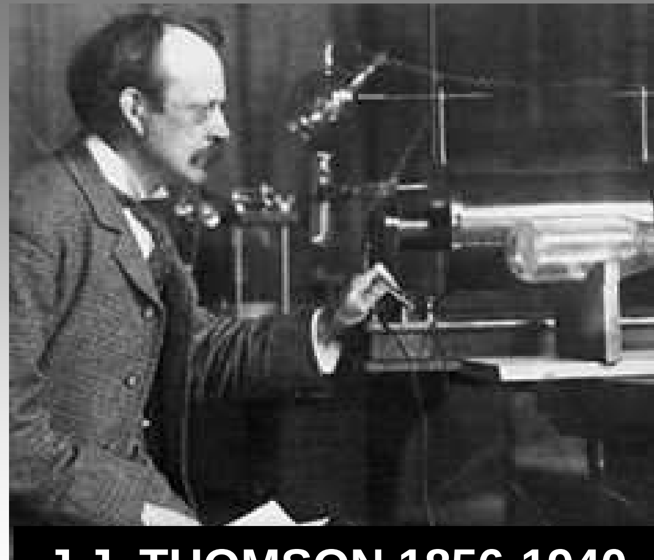
AKTIVITA URANOVÝCH SOLÍ

NOVÉ RADIOAKTIVNÍ PRVKY
POLONIUM A RADIUM

EMITUJÍ SE PAPRSKY ALFA (+) A BETA (-),
NEUTRÁLNÍ PAPRSKY GAMA OBJEVENY POZDĚJI.

PŘI RADIOAKTIVNÍCH PROCESECH SE ZMĚNÍ EMITUJÍCÍ PRVEK NA NOVÝ.

MALÉ NABITÉ ATOMY
(ELEKTRONY)



J.J. THOMSON 1856-1940

1897 ZKOUMÁNÍ KATODOVÉHO ZÁŘENÍ

CHOVÁ SE JAKO PROUD ZÁPORNĚ NABITÝCH ČÁSTIC

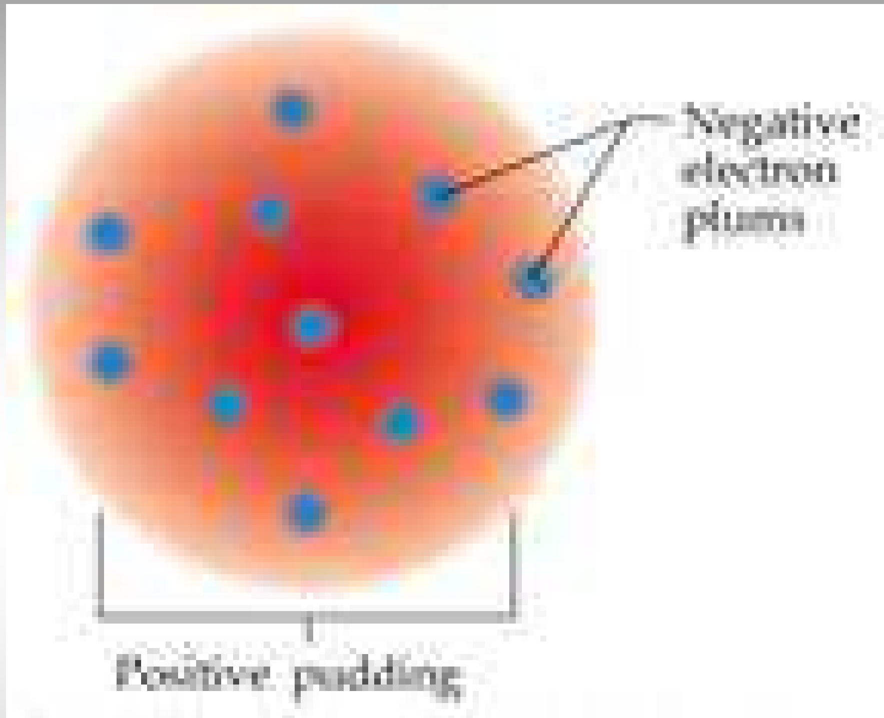
ODPOVÍDÁ TOMU POHYB V ELEKTROSTATICKÉM I MAGNETICKÉM POLI

MĚRNÝ NÁBOJ JE cca 1000 $\times$ VĚTŠÍ NEŽ ZJIŠTĚNÝ U ELEKTROLYTŮ

V ELEKTRICKÉM POLI JE e/m 1-3 $\times 10^{11}$ C/kg,
V MAGNETICKÉM 0.6-0.9 $\times 10^{11}$ C/kg
(DNEŠNÍ HODNOTA 1.758 820 12(15) $\times 10^{11}$ C /kg)

JE-LI NÁBOJ STEJNÝ JAKO U ČÁSTIC V ELEKTROLYTU, MAJÍ ČÁSTEČKY V KATODOVÉM ZÁŘENÍ cca 1000 $\times$ MENŠÍ HMOTNOST NEŽ TYTO ČÁSTICE

PLUM PUDDING MODEL – J.J. THOMSON 1904



ELEKTRONY, USPOŘÁDANÉ VE SLUPKÁCH, V KLADNĚ NABITÉ KOULI

(THOMSON : PLANETÁRNÍ DISKOVÝ MODEL NAGAOKŮV (1904) JE NESMYSL.)

ODRAZ ALFA ČÁSTIC OD ZLATÉ FOLIE

GEIGER A MARSDEN (1909) ZKOUMAJÍ U RUTHERFORDA ROZPTYL ALFA ČÁSTIC NA ZLATÉ (A DALŠÍCH) FOLII.

PROBLÉM :
DOCHÁZÍ K ROZPTYLU NA VELKÉ ÚHLY ?

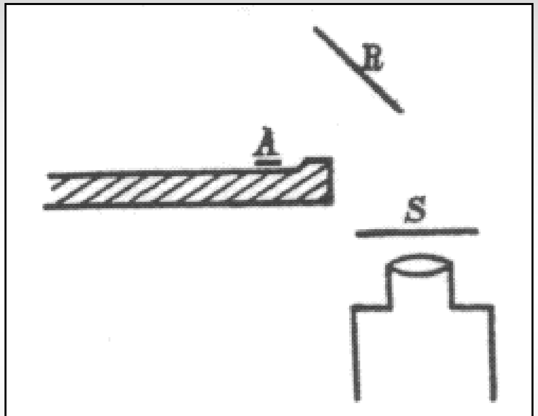
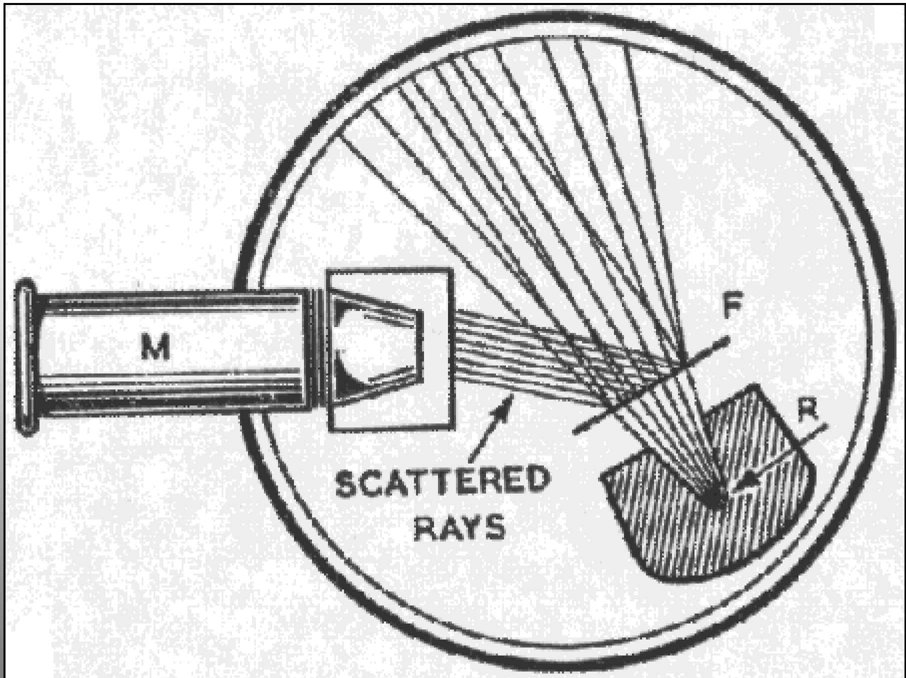


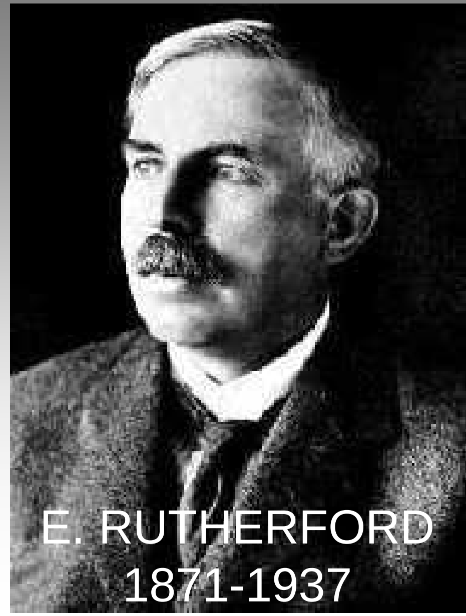
FIG. 3.



OBECNÁ ZÁVISLOST ?

VĚTŠINA BEZ ZMĚNY SMĚRU,
ČÁST VYCHÝLENA cca O 1^{o},
1/8000 VÍCE NEŽ 90^{o}

RUTHERFORDŮV MODEL ATOMU
prosinec 1910



MODEL : VE STŘEDU NÁBOJ *Ne*
O ROZMĚRU MENŠÍM NEŽ 10^{-14} m (≈ BOD),
KOLEM NÁBOJ -*Ne* V KOULI O ROZMĚRU
cca 10^{-10} m
OKOLNÍ NÁBOJ TVOŘÍ ELEKTRONY

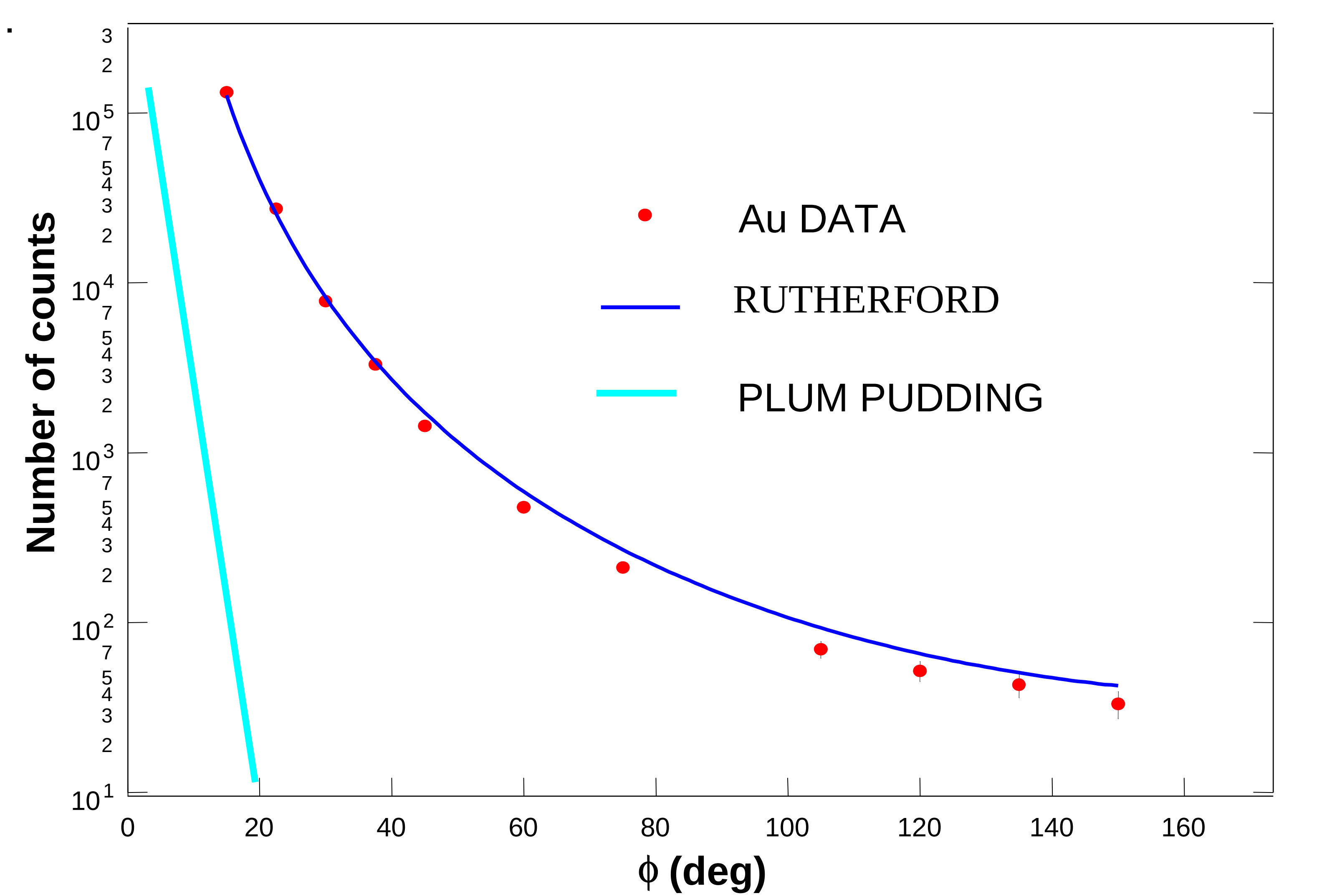
TO VYSVĚTLÍ POZOROVANÝ ROZPTYL NA ZLATÉ FOLII :

ALFA ČÁSTICE S RYCHLOSTÍ cca 2×10^{7} m/s SE DOSTANOU AŽ DO VZDÁLENOSTI cca 3×10^{-14} m – DOMINUJE VLIV STŘEDNÍHO NÁBOJE, ODHAD VLIVU ELEKTRONŮ : 1/*N* VLIVU CENTRA

POČET ČÁSTIC ROZPTÝLENÝCH O ÚHEL θ
DO JEDNOTKOVÉ PLOCHY JE ÚMĚRNÝ $1/\sin^4(\theta/2)$

STABILITA ?

GEIGER-MARSDEN DATA (1913)



BOHRŮV MODEL (1913)

NIELS BOHR
1885-1962

**PROBLÉM ZÁŘENÍ
V RUTHERFORDOVĚ MODELU**

KLASICKÉ VZTAHY :
ENERGIE $W = eE/4\pi\varepsilon_o . 1/2r$
FREKVENCE $\omega = 4\pi\varepsilon_o/eE . \sqrt{(2W)^3}/\sqrt{m}$

W **= energie,** $-e$ **= náboj elektronu,**
E **= náboj jádra,** ε_o **= permitivita vakua,** r **= poloměr dráhy,**
m **= hmotnost elektronu**

KVANTOVACÍ PODMÍNKA $W = ½\, n\hbar\omega$ **DÁ**

$$W = ½\, me^2E^2/(4\pi\varepsilon_o)^2/n^2\hbar^2, \quad \omega = me^2E^2/(4\pi\varepsilon_o)^2/n^3\hbar^3,$$
$$r = (4\pi\varepsilon_o)/meE . n^2\hbar^2$$

TAKTO ZÍSKANÉ STAVY POVAŽUJEME ZA STACIONÁRNÍ.
BEZ VYZAŘOVÁNÍ.
STAV S NEJVĚTŠÍ (VAZEBNOU) ENERGIÍ JE ZÁKLADNÍ.

ČÍSELNÉ HODNOTY ZÍSKANÝCH VELIČIN při $e = E$
ENERGIE: 13 eV , FREKVENCE: 3.9×10^{16} s^{-1},
ROZMĚR: 0.55×10^{-10}m

PODMÍNKA VYZAŘOVÁNÍ : $\hbar\Omega = W(n_2) - W(n_1)$

SOUHLAS RYDBERGOVY KONSTANTY : teor/exp = 3.1/3.29

KVANTOVACÍ PODMÍNKA MŮŽE MÍT TVAR
MOMENT HYBNOSTI $mVr = n\hbar$