

Václav Posejpal

Stanovení absorpčních skoků v oboru X-paprsků

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 61 (1932), No. 4, 171--179

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121304>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1932

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>

Stanovení absorpčních skoků v oboru X-paprsků.

(Předneseno ve fyzikální sekci J. Č. M. F. dne 3. března 1931.)

V. Posejpal.

(Došlo dne 12. září 1931.)

1. Dopadá-li kolmo na deštičku tloušťky dx svazek rovnoběžných paprsků intensity J , vychází z deštičky též svazek zeslaben na intensitu J' . Rozdíl $J - J' = -dJ$ se objeví jednak jako záření rozptýlené, difusní, obnosem $-dJ_1$, jednak se přemění skutečným absorpčním procesem na jiný druh energie, obnosem $-dJ_2$. V prvním přiblížení platí $-dJ_2 = \tau J \cdot dx$, kdež τ je konstanta úměrnosti a nazývá se pravý absorpční koeficient nebo také koeficient transformační.

Pravý absorpční koeficient závisí jednak na povaze látky, jednak na délce vlnové. Uvažujeme-li látku jednoduchou, prvek o atomovém čísle N , probíhá τ s délkou vlnovou obecně podle křivky vyznačené v obraze 1, ve kterém místo τ je nanášen tak zvaný specifický koeficient absorpční τ/ρ , ρ specifická hmota uvažované látky.

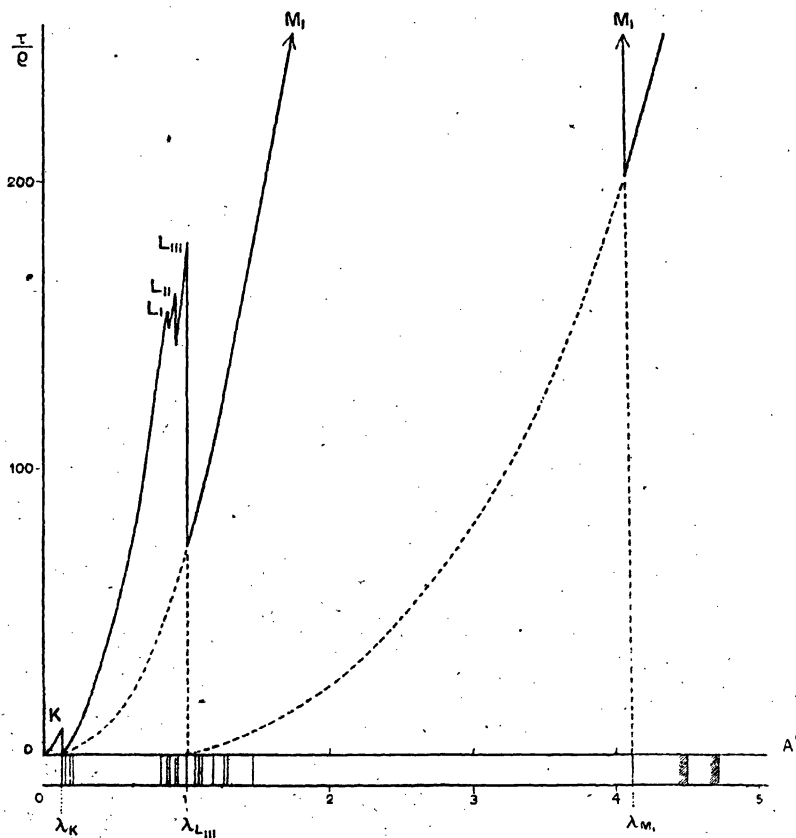
Křivka ta je význačná ostrými diskontinuitami, které se dostavují při délkách vlnových $\lambda_K, \lambda_{L_1}, \lambda_{L_2}, \lambda_{L_3}$, atd. Tyto délky vlnové udávají ve spektru absorpčním polohu absorpčních hran a jsou limitními délkami vlnovými serií K, L_1, L_2 , atd. a současně měrou energie stejnojmenných niveau.

Nazýváme poměr

$$\frac{\tau_{\lambda_K^-}}{\tau_{\lambda_K^+}}, \quad \lim \varepsilon = 0$$

absorpční skok K a označujeme jej symbolem $\delta_{K/L}$. Obdobně můžeme definovati další absorpční skoky L_1, L_2, L_3 atd., avšak tam věc zejména po stránce experimentální je ještě málo propracovaná a nebudeme se tím zde zabývat.

Přeměníme-li obraz 1 na souřadnice logaritmické, kladouce za úsečku $\log \lambda$, za pořadnici $\log \tau$ (respektive $\log \tau/\rho$), přejde křivka v přímku, která na absorpční hraně K se posune o trať $\log \delta_{K/L_1}$ ve směru klesající ordinaty, aby pokračovala dále rovnoběžně



Obr. 1.

s prvou částí. Tím toto logaritmické znázornění umožňuje z několika měření absorpce pro délky vlnové před hranou K a za hranou K graficky stanovit absorpční skok δ_{K/L_1} .

Diskontinuity absorpčního koeficientu názorně ilustruje zavedení pojmu tak zvaných dílčích absorpcí, jimž přináleží dílčí transformační abs. koeficienty $\tau_K, \tau_{L_1}, \tau_{L_2}$, atd. Koeficient τ_K měří tu část absorpce, která vzniká fotoelektrickým vypuzováním elektronů z niveau K . Patrně je $\tau_K = 0$ pro $\lambda = 0$, s rostoucím λ roste

a nabývá maximální hodnoty pro $\lambda = \lambda_K$, načež náhle klesne na nulu, jíž se rovná pro všechny další délky vlnové $\lambda > \lambda_K$. Obdobně koeficient τ_{L_1} vzniká souhrou elektronů niveau L_1 , začíná nulou pro $\lambda = 0$, pak stoupá a konečně klesne náhle, dosáhnuv své největší hodnoty pro $\lambda = \lambda_{L_1}$, tamtéž na nulu, atd. Je tedy

$$\tau = \tau_K + \tau_{L_1} + \tau_{L_2} + \dots, \quad \tau = \tau_{L_1} + \tau_{L_2} + \tau_{L_3} + \dots$$

Je jasno, že pro absorpční skok δ_{K/L_1} platí

$$\delta_{K/L_1} = \frac{\tau_K + \tau_{L_1} + \tau_{L_2} + \tau_{L_3} + \tau_{M_1} + \dots}{\tau_{L_1} + \tau_{L_2} + \tau_{L_3} + \tau_{M_1} + \dots} \quad (1)$$

2. Experimentální stanovení absorpčního skoku δ_{K/L_1} se děje, jak již naznačeno svrchu, měřením absorpce jednak v oboru před λ_K , jednak v oboru za λ_K a před λ_{L_1} . Sestrojíme příslušný graf, buď (λ, τ) nebo $(\log \lambda, \log \tau)$ a extrapolujíc obě větve křivky (přímky v druhém případě), až k λ_K , určíme δ_{K/L_1} . Při tom je důležité zdůraznit experimentální fakt, že nanášíme-li pro délky vlnové $\lambda > \lambda_K$ do grafu (λ, τ) za pořadnice místo τ hodnoty δ_{K/L_1} -krát větší, dostaneme křivku, která se spojitě připojuje k první větvi křivky pro $\lambda < \lambda_K$. Totéž ovšem platí i pro souřadnice logaritmické, kde místo $\log \tau$ nanášíme $\log \tau + \log \delta_{K/L_1}$. Tato věc je pěkně patrna na grafech, které přináší ve své práci E. Jönsson¹⁾, zejména z obr. 9 a 10 (Aluminium), 11 a 12 (Níkl), 13 a 14 (Měď). (Projekce.) Je z nich patrné, že τ je v celém oboru L_1 , to jest za absorpční hranou K a před absorpční hranou L_1 , veskrze δ_{K/L_1} -krát menší, než by bylo, kdyby nebylo absorpční diskontinuity.

3. Výsledky měření naznačeným získané brzy ukázaly, že absorpční skok δ_{K/L_1} se mění s atomovým číslem N . Tak na př. máme okrouhle pro aluminium $\delta_{K/L_1} = 12.6$, pro měď 8.2, wolfram 5.7, uran 5.3. Tím vzniká úloha vyjádřit δ_{K/L_1} teoreticky jako funkci atomového čísla.

a) První řešení této úlohy plyne z teorií absorpce X-paprsků, které podali J. J. Thomson,²⁾ A. H. Compton,³⁾ L. de Broglie⁴⁾ a G. E. M. Jauncey.⁵⁾ Z těchto teorií vyplývá souhlasně pro dílčí absorpci na libovolném niveau X výraz

$$\tau_x = C \frac{n_x}{\lambda_x^2} \lambda^3,$$

ve kterém značí n_x počet elektronů na uvažovaném niveau v atomu

¹⁾ E. Jönsson, Absorptionsmessungen im langwelligen Röntgengebiet und Gesetze der Absorption. Upsala, 1928.

²⁾ Conduction of Electricity through Gases, 2. vyd. p. 325.

³⁾ Phys. Rev. 14, p. 247, 1919.

⁴⁾ Journal de Phys. 3, p. 33, 1922.

⁵⁾ Phil. Mag. 48, p. 81, 1924.

normálním, C konstantu pro dané atomové číslo N . Vyjádříme-li podle tohoto vzorce dílčí absorpce v rovnici (1) a uvážíme, že λ_x je nepřímo úměrné extrakční práci, potřebné ke vzdálení elektronu z niveau X do nekonečna, kteroužto práci označme E_x , dostáváme pro absorpční skok na hraně K formuli (2)

$$\delta_{K/L_1} = \frac{n_K E_K^2 + n_L E_L^2 + n_M E_M^2 + \dots}{n_L E_L^2 + n_M E_M^2 + \dots} \quad (2)$$

Hodnoty, které podle této formule obdržíme, jsou všeobecně příliš veliké proti hodnotám naměřeným. Tak E. Jönsson podle ní počítá ve své svrchu zmíněné práci K -absorpční skok mědi a dochází k hodnotě 20·5, zatím co hodnota jím naměřená činí 8·2.

β) Docela novou, od předchozích odlišnou teorii absorpce X -paprsků podal na základě principu korespondenčního A. H. Kramers.⁶⁾ Plyne z ní, že absorpční skok δ_{K/L_1} je pro všechny prvky přibližně stejně veliký a rovný 5·5, což ovšem s měřením naprosto nesouhlasí.

Nejnověji se pokusil o teoretické určení absorpčního skoku δ_{K/L_1} M. Stobbe⁷⁾ a to aplikací kvantové mechaniky na fotoelektrické procesy. V jeho velmi složitém vzorci nepřicházejí skutečná čísla atomová, nýbrž tak zvaná efektivní, která zbývá určit, a platnost vzorce je omezena pouze na atomy těžké, velkého atomového čísla. Stobbe proto vyčísluje svůj vzorec jen pro prvky od platiny ($N = 78$) až po olovo ($N = 82$), pro něž dostává přibližně stálou hodnotu $\delta_{K/L_1} = 5\cdot39$, a pak pro uran ($N = 92$), pro který nachází 5·38. To je tedy výsledek v podstatě shodný s tím, který dává teorie Kramersova a tedy odporující měření.

4. Na základě svých představ o povaze světelného éteru⁸⁾ jsem odvodil pro absorpční skok δ_{K/L_1} následující výraz

$$\delta_{K/L_1} = 1 + \frac{10 - \eta}{a}, \quad (3)$$

ve kterém jest

$$a = \frac{1}{2^3} N_{L_1} + \frac{2}{3^3} N_{L_2} + \frac{3}{4^3} N_{L_3} + \frac{4}{5^3} N_{M_1} + \dots,$$

$$\eta = \frac{1}{2} \left[\frac{N-2}{N+1} \sum_{N=3}^N \frac{1}{N-2} + \frac{N-3}{N+1} \sum_{N=4}^N \frac{N+2}{N+1} \cdot \frac{1}{N-3} \right].$$

Při tom značí N atomové číslo a N_{L_1} počet elektronů normálně přítomných na niveau L_1 , atd.

⁶⁾ Phil. Mag. 46, p. 836, 1923.

⁷⁾ Annalen der Phys. (5) B. 7, p. 709, 1930.

⁸⁾ Rozpravy II. tř. České akademie roč. XXXVII, čís. 7 a čís. 39, 1928; roč. XL, čís. 35, 1930; ročník XLI, čís. 19, 1931.

Podle odvození vzorce (3) vychází, že η je vedle 10 malé pro malé N . Vynecháme-li je tedy, dostaneme vzorec

$$\delta_{K/L_1} = 1 + \frac{10}{a}, \quad (3')$$

který platí v prvním přiblížení pro lehké prvky. Tak na př. pro aluminium, nejllehčí to prvek, pro který δ_{K/L_1} bylo dosud měřeno, dává tento zkrácený vzorec hodnotu 15·86, zatím co hodnota měřená činí 12·6, obdobně dále (první číslo hodnota vypočtená podle (3'), druhá v závorce, hodnota měřená) pro síru 14·68 (11·0), chlor 14·36 (10·4) atd. Pro měď dává 12·17 (8·2), zatím co vzorec (2) dává 20·5. Je tedy i tento vzorec přibližný v převaze nad všemi ostatními, ježto dává daleko lepší souhlas než vzorec Thomson-Compton - Broglie i než teorie Kramersova, kdežto vzorec Stobbe pro lehké prvky vůbec neplatí.

Výsledky vypočtené podle úplného vzorce (3) přináší přítomná tabulka, ve které první sloupec obsahuje značky prvků a jejich atomová čísla, sloupec druhý hodnoty η , sloupec třetí hodnoty a a konečně sloupec čtvrtý výpočet absorpčního skoku δ_{K/L_1} . Sloupec pátý a šestý přináší hodnoty empirické, získané měřením. A sice jsou ve sloupci šestém všechna dosud známá měření získaná pomocí absorpčních koeficientů, jak to bylo výše vysvětleno. Jsou uvedena podle soupisu, který pořídil Jönsson na str. 62 citované práce. Čísla v závorkách jsou výsledky, které měřením získal Allen, za rovnítkem následují hodnoty, které z nich po provedení jistých korekcí určil Jönsson. Hodnoty pro prvky atomového čísla 15—17 jsou data novějšího, získal je B. Woernle r. 1930.⁹⁾ Sloupec pátý přináší hodnoty empirické získané z měření délky vlnové absorpčních hran. Zkušenost ukazuje, a první to poznal F. K. Richtmyer,¹⁰⁾ později roku 1928 určitěji E. Jönsson (loco cit p. 61), že platí s velkým přiblížením

$$\delta_{K/L_1} = \frac{\lambda_{L_1}}{\lambda_K} = \frac{\nu_K}{\nu_{L_1}} = \frac{E_K}{E_{L_1}}.$$

Poněvadž lze délky vlnové respektive frekvence absorpčních hran stanovit s přesností daleko větší než koeficienty absorpce τ , jsou hodnoty absorpčních skoků δ_{K/L_1} stanovené touto druhou cestou obecně správnější než hodnoty nalezené cestou první. Naše tabulka také ukazuje s nimi lepší souhlas.

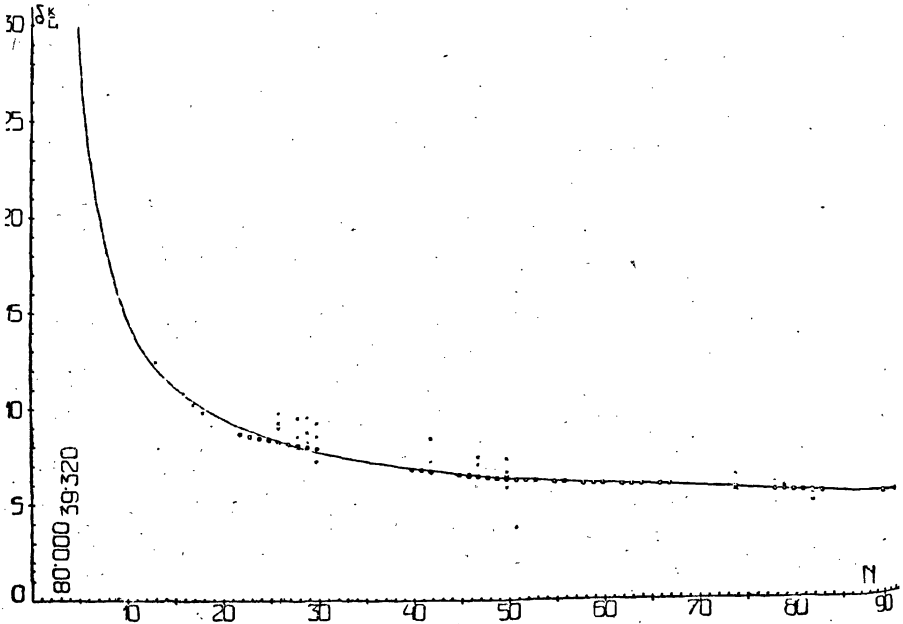
Dobrý souhlas hodnot vypočtených a naměřených, jež naše tabulka přináší, přehledněme rázem z grafického znázornění, obr. 2. Spojitá čára znázorňuje křivku procházející body určenými

⁹⁾ Ann. der Phys. (5) B. 5, p. 475, 1930.

¹⁰⁾ Phys. Rev. 23, p. 292, 1924.

výpočtem, kroužky odpovídají hodnotám sloupce pátého E_K/E_{L_1} , křížky hodnotám sloupce šestého, plynoucím z měření absorpce.

Převaha našeho vzorce nad teoriemi dosavadními vynikne, když si všimneme, kde v tomto grafu by ležel bod o souřadnicích (28, 20.5), který pro měď plyne z rovnice Thomson - Compton - Broglie, nebo když si osou N (osa vodorovná) vedeme rovnoběžku ve vzdálenosti 5.5, a jež vyjadřuje teoretickou křivku plynoucí z teorie Kramersovy a i Stobbeovy.



Obr. 2.

Nutno poznamenati, že hodnoty δ_{K/L_1} námi vypočtené a jim odpovídající křivka jsou hodnotami jaksi ideálními, ježto do výrazu pro a nebyly dosazeny za N_K , N_{L_1} , N_{L_2} skutečné počty elektronů na dotyčných slupkách K , L_1 , L_2 , poněvadž je bezpečně neznáme; ale hodnoty určené podle pravidla Stonerova. Podle tohoto pravidla má niveau elektrony plně obsazené počet elektronů rovný $2k_2$, kdež k_2 je tak zvané vnitřní kvantové číslo, a místo něhož se nověji píše častěji j . Toto pravidlo jsme ještě doplnili zatímním předpokladem, že elektrony přistupují se stoupajícím atomovým číslem na příslušná niveau pravidelně, t. j. že se normálně neusazují na niveau energie nižší, pokud sousední niveau energie vyšší jimi není plně obsazeno. Tomu ovšem ve skutečnosti

Tabulka.

$$\delta_{K/L_1} = 1 + \frac{10 - \eta}{\alpha}$$

Prvek	η	α	δ_{K/L_1} Výpočet	$\delta_{K/L_1} =$ $\frac{E_{K_1}}{E_{L_1}}$	δ_{K/L_1} Měření absorpcí
1 H	0				
2 He	0				
3 Li	0·12500	0·12500	80·000		
4 Be	0·42000	0·25000	39·320		
5 B	0·75555	0·32407	29·526		
6 C	1·05901	0·39815	23·456		
7 N	1·32493	0·44502	20·494		
8 O	1·55771	0·49190	18·163		
9 F	1·76282	0·53877	16·289		
10 Ne	1·94506	0·58565	14·754		
11 Na	2·10831	0·61765	13·777		
12 Mg	2·25568	0·64965	12·921		
13 Al	2·38965	0·67280	12·311		12·6
14 Si	2·47886	0·69594	11·807		
15 P	2·62492	0·71344	11·337		
16 S	2·72915	0·73093	10·947		11·0
17 Cl	2·82596	0·74842	10·536		10·4
18 A	2·91623	0·76591	10·249		10·0
19 K	3·00073	0·77959	9·978		
20 Ca	3·08009	0·79326	9·723		
21 Sc	3·15485	0·80693	9·483		
22 Ti	3·22546	0·82060	9·256	8·92	
23 V	3·29235	0·83157	9·066	8·77	
24 Cr	3·35584	0·84255	8·886	8·65	
25 Mn	3·41625	0·85352	8·714	8·56	
26 Fe	3·47383	0·86450	8·549	8·47	(10, 9·5) = 9·2
27 Co	3·52883	0·87547	8·392	8·39	
28 Ni	3·58144	0·88644	8·241	8·32	8·3 (9·8, 8·8) = 8·2
29 Cu	3·63186	0·89544	8·112	8·24	8·2 (9·8, 9) = 8·5
30 Zn	3·68025	0·90444	7·988	8·16	(9·5, 8·8) = 7·5
31 Ga	3·72675	0·91196	7·879		
32 Ge	3·77150	0·91947	7·774		
33 As	3·81462	0·92583	7·681		
34 Se	3·85622	0·93220	7·591		
35 Br	3·89638	0·93857	7·503		
36 Kr	3·93521	0·94493	7·418		
37 Rb	3·97279	0·95039	7·342		
38 Sr	4·00917	0·95586	7·268		
39 Y	4·04445	0·96132	7·195		
40 Zr	4·07868	0·96678	7·125	7·07	
41 Nb	4·11191	0·97152	7·061	7·03	
42 Mo	4·14420	0·97625	6·998	6·94	8·7, 7·5
43 ?	4·17560	0·98099	6·937		
44 Ru	4·20615	0·98573	6·878		
45 Rh	4·23590	0·99047	6·820	6·79	

Prvek	η	a	δ_{K/L_1} Výpočet	$\delta_{K/L_1} = \frac{E_K}{E_{L_1}}$	δ_{K/L_1} Měření absorpci
46 Pd	4.26488	0.99520	6.763	6.72	6.8
47 Ag	4.29314	0.99935	6.711	6.69	7.3, 7.8, 6.7 (7.7, 7.3)
48 Cd	4.32070	1.00350	6.660	6.63	
49 In	4.34760	1.00765	6.610	6.59	
50 Sn	4.37387	1.01180	6.561	6.52	6.6, 6.1 (7.6, 6.9)
51 Sb	4.39953	1.01594	6.513	6.48	
52 Te	4.42461	1.02009	6.466	6.44	
53 I	4.44914	1.02375	6.422	6.40	
54 X	4.47313	1.02742	6.379		
55 Cs	4.49662	1.03108	6.338	6.28	
56 Ba	4.51961	1.03474	6.296	6.24	
57 La	4.54215	1.03840	6.256		
58 Ce	4.56422	1.04206	6.216	6.15	
59 Pr	4.58586	1.04572	6.177	6.13	
60 Nd	4.60707	1.04938	6.139	6.11	
61 ?	4.62789	1.05264	6.104		
62 Sm	4.64832	1.05590	6.068	6.05	
63 Eu	4.66837	1.05881	6.036	6.03	
64 Gd	4.68806	1.06173	6.003	6.00	
65 Tb	4.70740	1.06435	5.973		
66 Ds	4.72640	1.06698	5.943	5.95	
67 Ho	4.74507	1.06960	5.913	5.94	
68 Er	4.76343	1.07223	5.884		
69 Tm	4.78148	1.07460	5.856		
70 Yb	4.79924	1.07698	5.829		
71 Lu	4.81670	1.07935	5.802		
72 Ct	4.83389	1.08173	5.776		
73 Ta	4.85081	1.08389	5.751		
74 W	4.86747	1.08605	5.726	5.73	5.65, (6.4)
75 ?	4.88387	1.08821	5.701		
76 Os	4.90002	1.09037	5.677		
77 Ir	4.91594	1.09253	5.654		
78 Pt	4.93162	1.09469	5.630	5.61	(6.0)
79 Au	4.94708	1.09666	5.608	5.60	5.65 (5.8)
80 Hg	4.96232	1.09863	5.585	5.59	
81 Tl	4.97734	1.10060	5.564	5.55	
82 Pb	4.99215	1.10257	5.542	5.53	5.40 (5.0)
83 Bi	5.00677	1.10455	5.521	5.50	
84 Po	5.02103	1.10652	5.500		
85 ?	5.03540	1.10833	5.479		
86 Em	5.04943	1.11013	5.460		
87 ?	5.06157	1.11194	5.441		
88 Ra	5.07696	1.11375	5.420		
89 Ac	5.09046	1.11556	5.401		
90 Th	5.10379	1.11737	5.382	5.35	
91 Pa	5.11695	1.11918	5.363		
92 U	5.12995	1.12098	5.345	5.29	

pravděpodobně tak není a náš vzorec nabývá tím na významu, že nám umožní, na základě velmi přesných měření absorpčního skoku, zjišťovati skutečné obsazení energetických niveau obalovými elektrony.

*

Détermination des sauts d'absorption dans le domaine des rayons X.

(Résumé de l'article précédent.)

Après avoir expliqué la notion du saut d'absorption l'auteur précise la définition du saut d'absorption sur le niveau K , désigné par le symbole $\delta_{K/L}$. Ensuite il passe en revue les méthodes expérimentales servant à la détermination numérique du $\delta_{K/L}$ ainsi que les formules théoriques, résultant des théories d'absorption connues jusqu'à présent. Toutes ces formules s'accordent mal avec l'expérience, à l'exception de la formule déduite par l'auteur même de ses idées sur la nature de l'éther. C'est la formule (3)

$$\delta_{K/L_1} = 1 + \frac{10 - \eta}{a} \quad (3)$$

où

$$a = \frac{1}{2^3} N_{L_1} + \frac{2}{3^3} N_{L_2} + \frac{3}{4^3} N_{L_3} + \frac{4}{5^3} N_{M_1} + \dots,$$

$$\eta = \frac{1}{2} \left[\frac{N-2}{N+1} \sum_{N=3}^N \frac{1}{N-2} + \frac{N-3}{N+1} \sum_{N=4}^N \frac{N+2}{N+1} \cdot \frac{1}{N-3} \right],$$

et où N est le nombre atomique et les N_{L_1} , N_{L_2} , N_{L_3} , ... sont les nombres d'électrons occupant les couches L_1 , L_2 etc.