
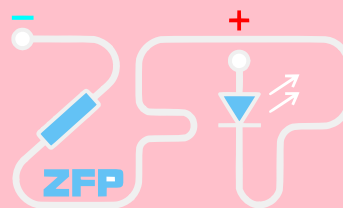


Krabinet  výfuky obecné fyziky,
♥ UK ♥ MFF, MÍR SVOBODNÉ
UKRAJINĚ!

Physicální **practicum** III



Optica



Úroveň bolesti č. 13

Typ bolesti: Vlastnosti rentgenového zářička

Méno more: Josef Iosephus Kučeravý de Mathphys

Datum incidentu: 06. 04. 2022

Věnování: „Věnováno Johance, protože jest čůpr a pařboidní“



Připomínky opravujícího:



V textu

Hezke, bohuzel nedodelano, nechoete jeste dodelat ?

	Nereálný počet bodův	Reálný počet bodův
Theoretická partita	0–2	2
Výkon i obroba měřeníhož	0–9	7
Obrana výsledkův	0–4	1
Apokalypsa	0–1	1
Použité knižstvo	0–1	1
Suma sumárum	maxík: 17	12

Posuzoval: *uctivý pan Petr Gabriel*

dne:

Pracovní kázeňský trest

1. Ze zadané hustoty krystalu fluoridu lithného určete vzdálenost d hlavních atomových rovin.
2. Proměřte úhlovou závislost intenzity difraktovaného rentgenového záření při pevné orientaci krystalu.
3. Změřte spektrum rentgenového záření při konstantním anodovém napětí rentgenky $U_a = 20$ kV. Okolí mezní vlnové délky proměřte při několika různých hodnotách anodového napětí.
4. Z mezní hodnoty energie spojitého spektra určete Planckovu konstantu, porovnejte s tabelovanou hodnotou. Určete vlnové délky čar K_α , K_β (porovnejte s tabelovanými hodnotami), spočtěte jejich vlnočty a odpovídající energetické rozdíly vyjádřete v keV. Určete konstanty stínění.

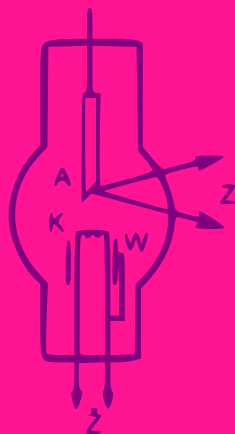
Základní vztahy a klíčová slova:

vznik rentgenového záření, atomové energetické stavy a přechody mezi nimi, charakteristické a brzděné záření, difrakce rtg záření na krystalech, Braggova podmínka, rtg spektroskopie, krystalická struktura, vzdálenost atomových rovin, mřížková konstanta, elementární buňka krystalové struktury

Theoretická partita

Generace X-záření

X-záření, chcete-li, *Röntgenovy paprsky smrti*, už po generace dokážeme generovati! Pekelná mašina, která nám to umožňuje, zove se Rentgenova trubica (viz. Obrázek 1):



Obrázek 1: Rentgenova trubica, upraveno z [1]

V skleněné banduře, kde vakuum nacházeti se ráčí, koexistují spolu anoda s kathodou. Žhavením kathydy jsou emitovány elektronky, any jsou poté urychlovány anodovým napětím U_{aaaaaa} a dopadají na anodu.

V místě drtivého dopadu poté vzniká X-záření. Dále jest v banduře umístěn válec, na Obrázku 1 titulován písmenem *W*, an jest toliko spojen vodivým způsobem s kathodou. Má principiálně koncentrovati ~~svou moc~~ svazka elektronovéhož do jednoho místa, díky čemu vzniká takměř bodový zdroj RTG záření.

2 typy X-záření

Rentgenovo záření separujeme do dvou typův. Brzdnéhož a charakteristickéhož.

Brzdné zářeníčko vzniká při polapení dopadajících elektronův v poli elektrickémě atomovými jáderky na anodě. Spektrum jehož toliko spojitě jest. V oblasti krátkých vln je intenzita téměř nulová až od λ_m začne mít nenulovou hodnotu. Tato mezní vlnová délka odpovídá tomu, že elektron odevzdal celou svou energii eU_a vzniklému rentgenovému fotonu (e jest elementární náboj).

Tomu dále odpovídá vztah [1]:

$$h\nu_m = \frac{hc}{\lambda_m} = eU_a \quad (1)$$

kde h Planckova konstanta, ν_m mezní hodnota kmitočtu, c rychlost světla

Charakteristické zářeníčko má proti tomuž spektrum diskrétní (*pš-ššt, nerušit!*), závisující na materiálu anody. Princip jeho vzniku též záhadou nám býti neráčí! Vzniká tak, že elektron dopadající na anodu vyrazí některý z elektronů na nižší energetické hladině (blíže jádérku) v atomech anody. Pro tuto srandu však dopadající elektrony musí mít dostatečnou energii.

Uražené elektrony buď excitují se do vyšších energetických hladin a tam dělají bordel, nebo se naserou a odejdou z atomu úplně pryč – ionizace.

Na uvolněné místo jsou (po pracovním pohovoru) přijaty elektrony z vyšších hladin za podmínky zřizovatele pracovního místa, to jest: současného vyzáření fotonů charakteristického záření.

Jednotlivé čáry i máry spektra odpovídají přechodům mezi jednotlivými hladinami, například čára K_α odpovídá přechodu mezi hladinou s hlavním kvantovým číslem $n = 2$ do $n = 1$, K_β přechodu z $n = 3$ do $n = 1$ apod. Pro vlnočet σ_{12} přeskoků z n_1 na n_2 platí vztah [1]

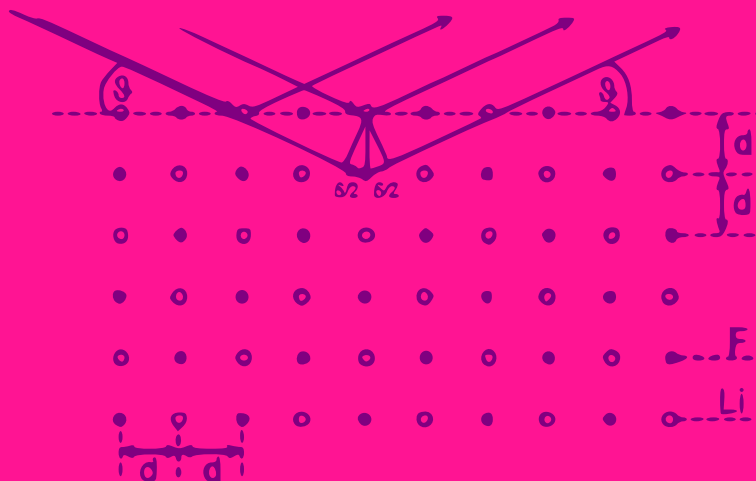
$$\sigma_{12} = R(Z - s)^2 \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (2)$$

kde R Rydbergova konstanta, Z atomové číslo, s stínící konstanta

Pozn. red: Stínící konstanta s , repraesentuje vliv ostatních elektronů na elektron, kterému přescočilo.

Difrakce X-záření

Braggův model difrakce rentgenového záření na atomové krystalické mřížce uvažuje systém rovnoběžných rovin v krystalu, od kterých se paprsek odráží, aby si to čtenář dovedl představit, uvádíme Obrázek 2:



Obrázek 2: Difrakce kámo, upraveno z [1]

Dopadající i odražený paprsek zde svírají stejný úhel s příslušnou rovinou. Braggova podmínka nám poté nakazuje, kdy se paprsky difragované různými rovinami skládají ve fázi [1]:

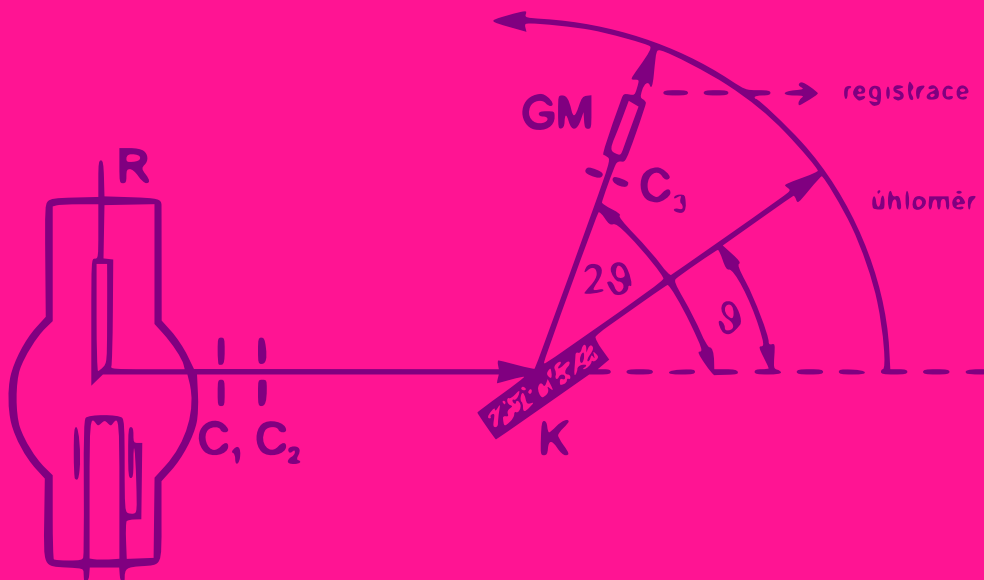
$$2d \sin \theta = k\lambda \quad (3)$$

kde $k \in \mathbb{Z}$, d vzdálenost rovin, θ úhel dopadu a λ vlnová délka dopadajícího záření.

Už při malých úchylnostech vzniká velký pokles intenzity.

Metoda měření

Nákres měřicího přístroje uvádíme na Obrázku 6:



Obrázek 3: Voe, upraveno z [2]

Obrázek vystačí za 1000 slov \pm 5 slov chyba měření.

Ale stejně ještě dodáme, že: K značí na obrázku měřený krystal (LiF), GM zve Geiger-Müllerův počítač a R již zmíněný pekelný stroj.

GM detekuje záření vystupující z krystalu a je přímo připojen k počítači, pomocí úhlooměru jej lze nastavit do potřebné polohy stejně jako krystal.

Výkon a obroba měřeníhož

Vzdálenost atomových rovin

Nejprve jali jsme se počítati vzdálenost atomových rovin d . Uctivý pan *Marek Procházka* se nad námi smiloval, když viděl, jak hyneme v početní agonii, a trošku nám poradil.

Nejprve jsme si uvědomili, že mřížka látky LiF jest plošně centrovaná. Tu si můžeme pomocí figle představit jako prostou, nicméně s tím, že ve 4 vrcholech krychle jest atom F a ve 4 jest atom Li . Pak pro relativní atomovou hmotnost sloučeniny M platí:

$$m = \frac{1}{8} \cdot 4M_F + \frac{1}{8} \cdot 4M_{Li} = \frac{1}{2}(M_F + M_{Li})$$

kde $M_F = 18,998$ jest relativní atomová hmotnost fluoru, $M_{Li} = 6,941$ jest relativní atomová hmotnost lithia.

Dále počítáme dle vzorečku:

$$d^3 = \frac{m}{\rho_{LiF}} = \frac{M}{N_A} \cdot \frac{1}{\rho_{LiF}}$$

kde $N_A = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ jest Avokádova konstanta a $\rho_{LiF} = 2601 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ hustota vzorku LiF . [2]

Tedy celkem nakonec máme:

$$d^3 \approx 8,279 \cdot 10^{-30}$$

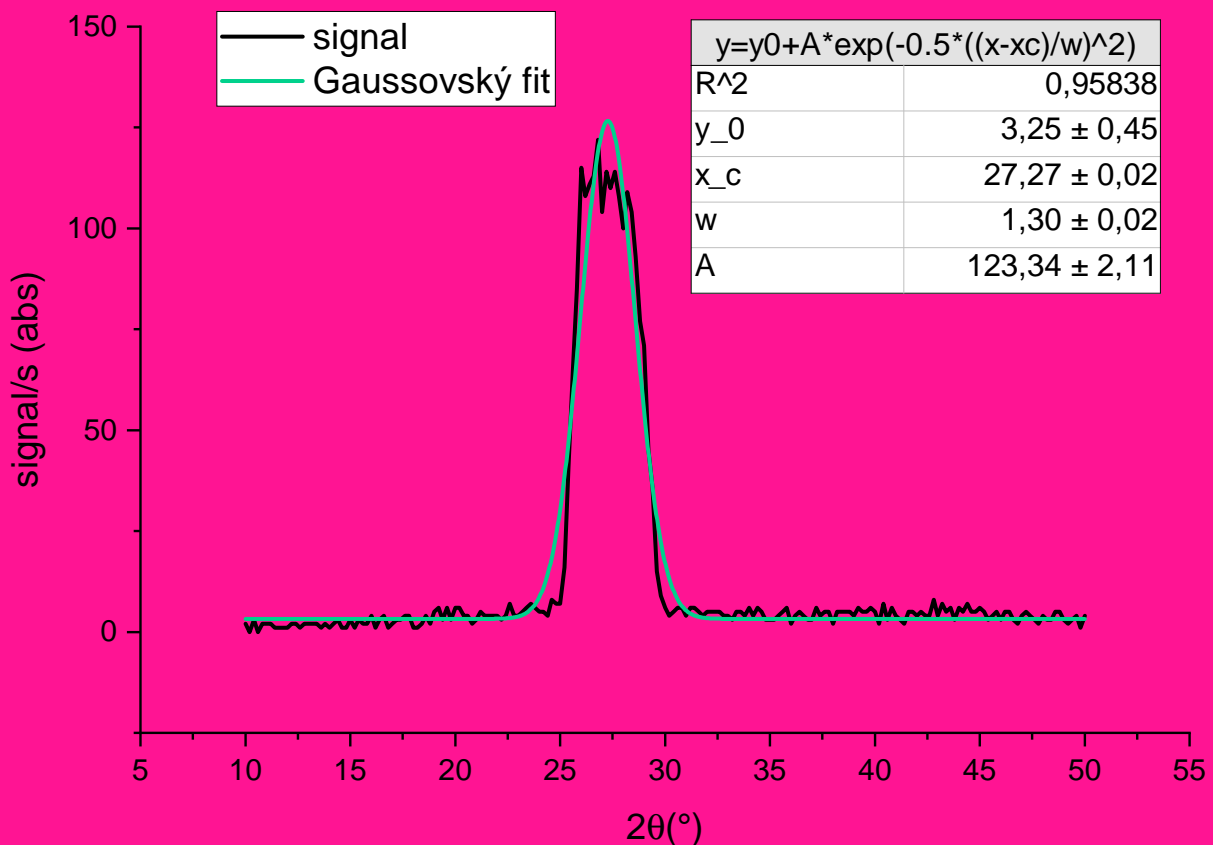
což po odmocnění dává:

$$d \approx 2,02 \cdot 10^{-10}$$

A toto jest hledaná hodnota vzdálenosti hlavních atomových rovin v krystalu LiF .

Úhlová závislost

Pro pevně umístěný krystal se sklonem $\theta = 14^\circ$ jsme se jali roztočit Geiger-Müllerův počítač dokolečka. Podmínky experimentu byly následující: teplota laboratorní, $I = 1\text{mA}$, krok $\delta\theta = 0,2^\circ$, expozice = 3s . A dostali jsme následující grafík, který jsme v programu Origin proložili Gaussovskou:



Obrázek 4: Závislost intensity signálu na úhlu natočení θ

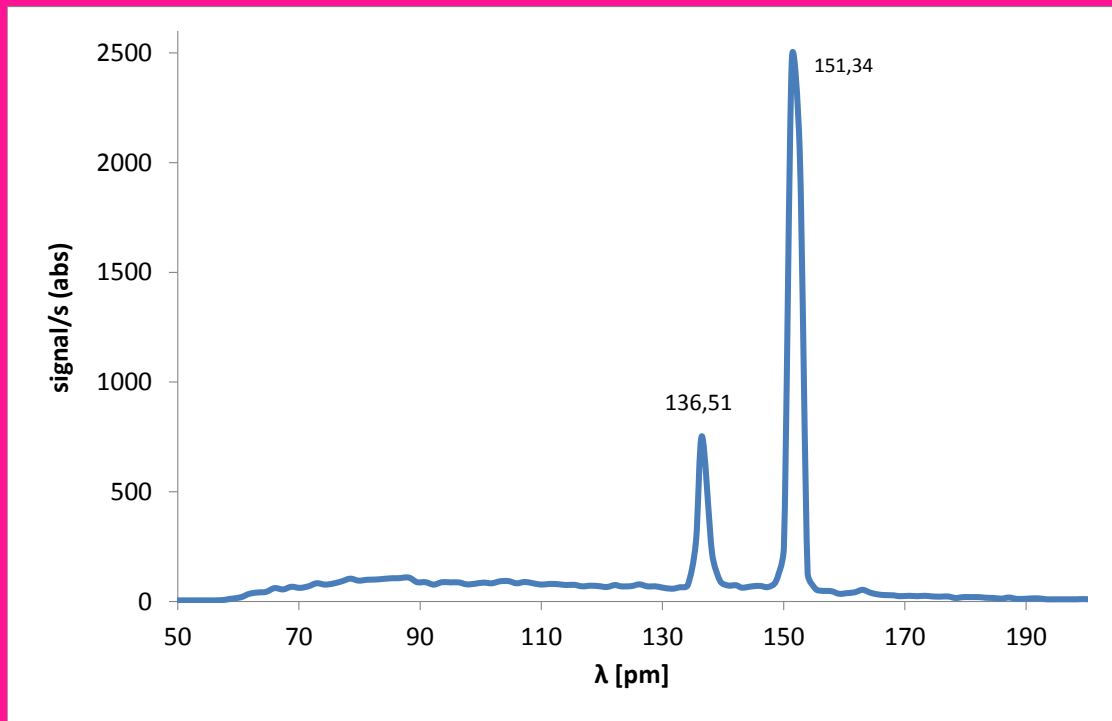
Z grafíku si vyzobneme hodnůtku x_c kterážto pro nás má fyzikálního sysla! Volili jsme úhel natočení $\theta = 14^\circ$, v grafu však máme vyneseny hodnoty pro 2θ , tedy očekávali jsme maximum na hodnotě $2\theta_m = 28^\circ$.

$x_c = 2\theta_m = (27,27 \pm 0,02)^\circ$, tedy vidíme, že mašina jest rozeštelovaná jak hovado.

Správný závěr ale ten slovník ?????

SpektRUM X-záření

Pak jsme proměřovali charakteristické záření vzorečku:



Obrázek 5: Charakteristické záření

Všechno fachało, jak má! Dostali jsme 2 charakteristické linie (jednu za fluor a jednu za lithium). Vlnovou délku jsme z úhlu 2θ vypočítali z Braggovy rovnice.

Naměřená data uvádíme na další stránce, protože je jich fááákt hodně.

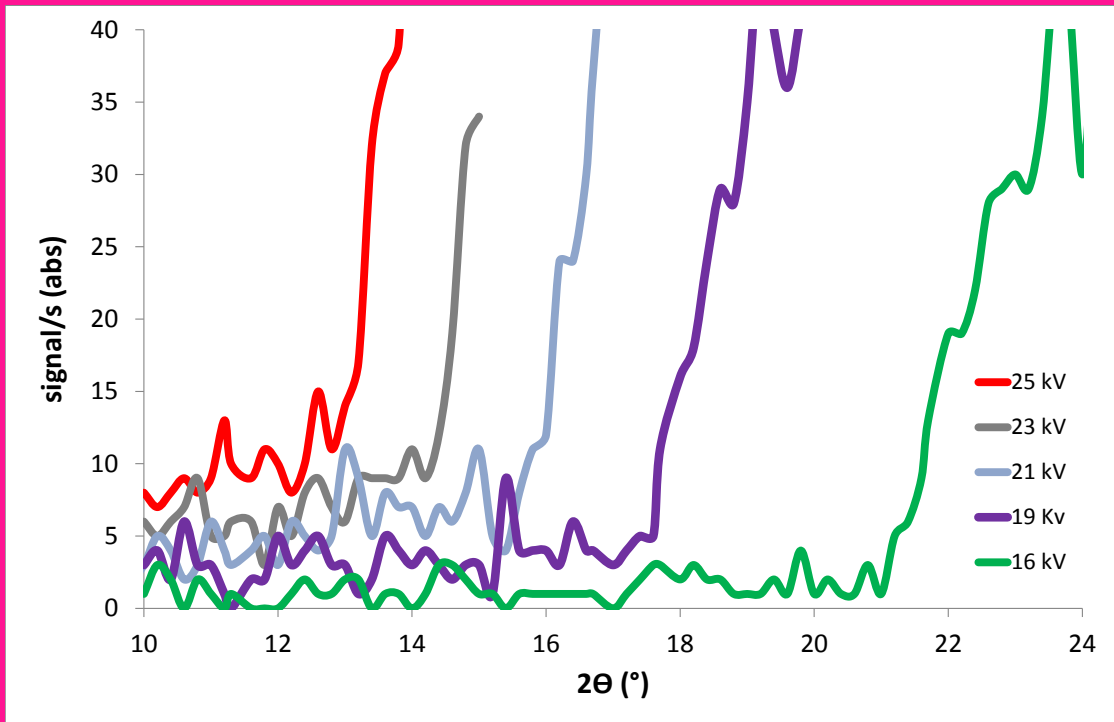
Zaokrouhlit vlnové délky\ + udat chybu

2 Θ (°)	λ [pm]	sign(abs)	2 Θ (°)	λ [pm]	sign(abs)	2 Θ (°)	λ [pm]	sign(abs)	2 Θ (°)	λ [pm]	sign(abs)
10	35,21092	3	22,8	79,85357	95	35,5	123,1652	69	48,4	165,6089	32
10,4	36,61556	3	23,2	81,23548	99	36	124,8429	70	48,8	166,8942	29
10,8	38,01976	2	23,6	82,6164	100	36,4	126,1833	78	49,2	168,1774	28
11,2	39,42349	4	24	83,99632	103	36,8	127,5222	69	49,5	169,1385	24
11,6	40,82674	4	24,4	85,37522	106	37,2	128,8596	69	50	170,7378	26
12	42,2295	5	24,7	86,40871	106	37,5	129,8615	64	50,4	172,0148	24
12,4	43,63174	3	25,2	88,12987	109	38	131,5295	58	50,8	173,2898	26
12,8	45,03345	3	25,6	89,50559	88	38,4	132,8621	65	51,2	174,5626	23
13,2	46,43461	4	26	90,88023	88	38,8	134,1931	76	51,6	175,8334	22
13,6	47,8352	3	26,4	92,25375	77	39,2	135,5224	273	52	177,1019	23
14	49,23521	5	26,8	93,62615	88	39,5	136,5184	753	52,4	178,3684	16
14,4	50,63463	5	27,2	94,99741	87	40	138,1761	221	52,8	179,6326	20
14,8	52,03342	5	27,6	96,36752	87	40,4	139,5005	94	53,2	180,8947	20
15,2	53,43158	5	28	97,73645	78	40,8	140,8231	73	53,6	182,1545	20
15,6	54,82909	5	28,4	99,10418	81	41,2	142,144	74	54	183,4122	17
16	56,22593	5	28,8	100,4707	86	41,5	143,1336	63	54,4	184,6676	16
16,4	57,62209	7	29,2	101,836	83	42	144,7807	69	54,8	185,9207	13
16,7	58,66875	12	29,6	103,2001	92	42,4	146,0963	71	55,2	187,1716	18
17,2	60,41228	19	30	104,5629	93	42,8	147,4102	66	55,6	188,4202	12
17,6	61,80628	35	30,4	105,9244	83	43,2	148,7223	92	56	189,6665	12
18	63,19952	41	30,8	107,2847	89	43,6	150,0326	246	56,4	190,9105	14
18,4	64,592	44	31,2	108,6436	83	44	151,3411	2465	56,8	192,1522	14
18,8	65,98369	61	31,6	110,0012	77	44,4	152,6477	2053	57,2	193,3915	10
19,2	67,37457	55	32	111,3575	80	44,8	153,9524	129	57,6	194,6285	10
19,6	68,76464	67	32,4	112,7124	79	45,2	155,2553	58	58	195,8631	10
20	70,15386	62	32,8	114,0659	75	45,5	156,2312	49	58,4	197,0953	10
20,4	71,54224	69	33,2	115,4181	76	46	157,8554	47	58,8	198,3251	10
20,8	72,92973	83	33,6	116,7688	69	46,4	159,1525	35	59,2	199,5525	11
21,2	74,31635	77	34	118,1182	72	46,8	160,4477	38	59,6	200,7775	9
21,6	75,70205	82	34,4	119,4661	70	47,2	161,741	42	60	202	7
22	77,08683	92	34,8	120,8125	66	47,6	163,0323	53			
22,4	78,47068	104	35,2	122,1574	75	48	164,3216	40			

Obrázek 6: Charakteristické záření (data)

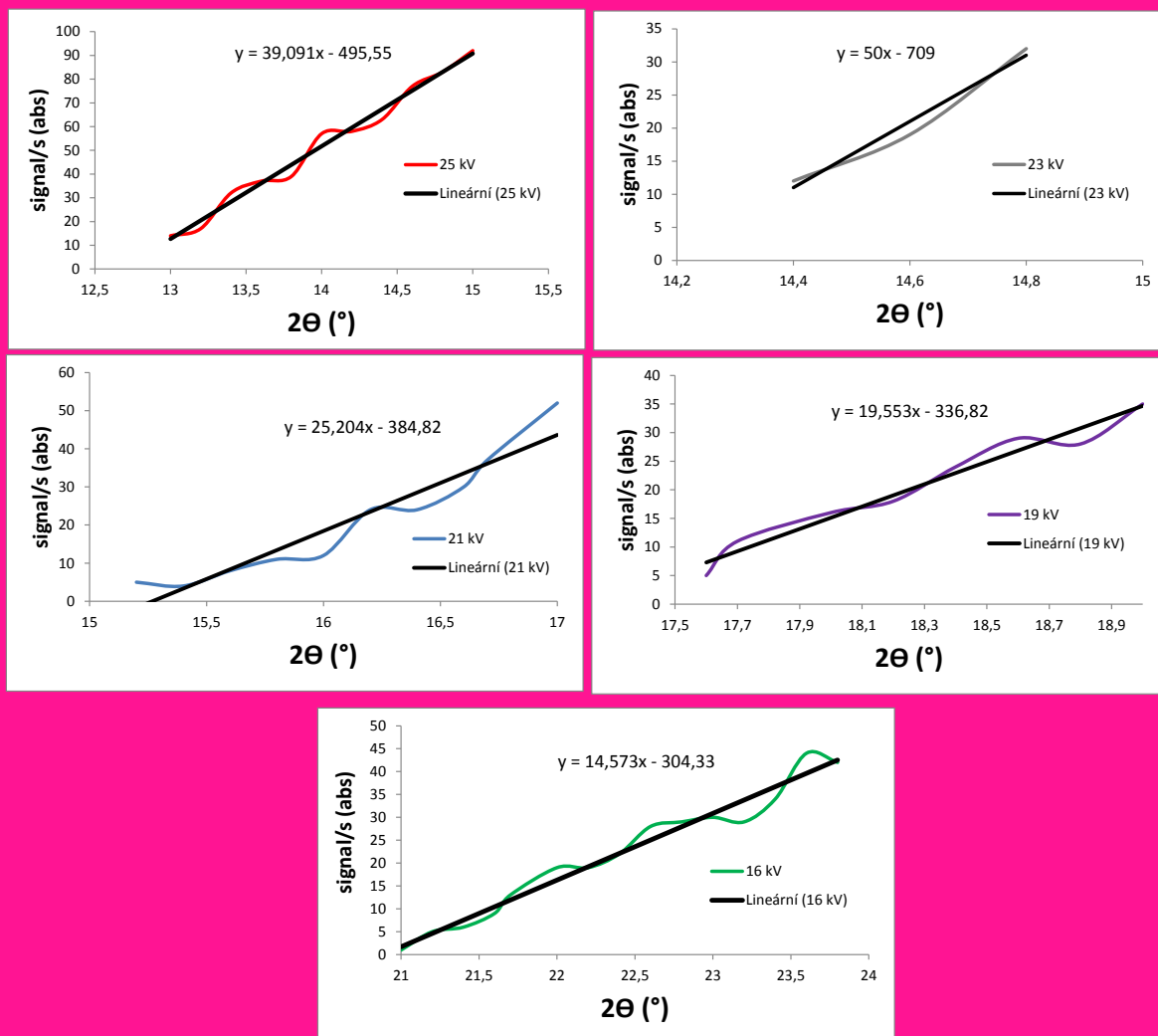
Závislost úhlu 2θ na napětí

Pak jsme též měřili jak závisí úhel 2θ na použitém urychlovacím napětí. Dostali jsme následující:



Obrázek 7: 2θ a urychlovací napětí

Provedli jsme lineární regraci naměřených závislostí:



Obrázek 8: 2θ a urychlující napětí (regrace)

A dostali jsme hodnoty průserčků s osou x :

U[kV]	2θ (°)	e 2θ (°)
25	12,7	0,5
23	14,2	0,5
21	15,4	0,5
19	17,2	0,5
16	21,0	0,5

Obrázek 9: Průserčiky

A vidíme, že se to posouvá, což jsme očekávali! Pařba! Chtěli bychom toho vypočítati více, ale božuzel již nestíháme. Student je rád, že se vůbec stíhá najíst a nepojde bídňe hlady. Prosím smilujte se výše postavení mocipánové a mociadámy! uwu

Obrana výsledků

Nebojíme se vlka nic. Bráníme výsledky, seč nám tělo stačí! Nás ne-
napadejte, ustupne nám radši!

Prachbídna soustava. Jak nám pravil uctivý pan *Gabriel*: Diletanti
rozeštělovali měřicí soustavu, takže tam máme systematickou chybu.

Neuplna diskuse !!!! Dopadlo vsechno jak jsme ocekavali ???

Apokalypsa

Vypočítali jsme vzdálenost atomových rovin ve vzorku LiF jakožto $d = 202 \text{ pm}$

Ověřili jsme, že úhlová závislost rozptylu rentgenového záření na krystalu jest gausiánské povahy.

Stanovili jsme úhel $x_c = 2\theta_m = (27,27 \pm 0,02)^\circ$ v rozštělované soustavě pro $\theta = 14^\circ$.

Našli jsme 2 spektrální čáry, jedna odpovídající lithiu na vlnové délce $136,51 \text{ pm}$ a druhou odpovídající fluoru na vlnové délce $151,34 \text{ pm}$.

Pro 5 různých hodnot urychlovacího napětí jsme dopočítali body zvratu methodou lineární regrace a vyšlo nám, že se posouvají pro vyšší urychlující napětí do nižších hodnot úhlů 2θ .

Student nezemřel hlady, stihl se nakrmiti, ale už nestíhal dopočítati hodnůtku Planckovy konstanty, což jej velice mrzí a modlí se za odpuštění.



Obrázek 10: Děkujeme, odcházíme!

Použité knižstvo

- [1] Studijní text k Fyzikálnímu Praktiku III. 13. Rentgenová spektroskopie. [online] [cit. 2022-04-08]. Dostupné online z: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_313.pdf
- [2] Pokyny k měření k Fyzikálnímu Praktiku III. 14. Rentgenová spektroskopie. [online] [cit. 2022-04-08]. Dostupné online z: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_313.pdf