

Modern Fizika Laboratórium
Fizika és Matematika BSc

9. Röntgen-fluorerszcencia analízis

Mérést végezték:

Bodó Ágnes
Márkus Bence Gábor

Kedd délelőtti csoport

Mérés ideje: 03/13/2012
Beadás ideje: 03/20/2012

Érdemjegy:

1. A mérés rövid leírása

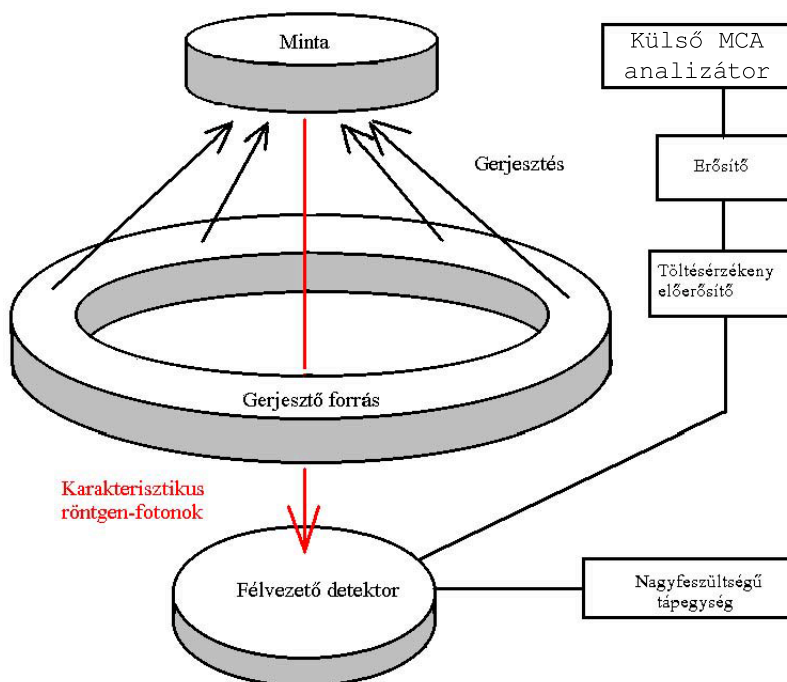
Mérésünk során ismert és ismeretlen összetételű anyagokat vizsgáltunk röntgen-fluoreszcencia analízissel (RFA), hogy meghatározzuk az alkotó elemeket. A módszer lényege, hogy a vizsgált mintában nem hagy maradandó károsodást. A mérés elején bekalibráltuk a mérőműszert ón és mangán minták segítségével. Ezt követően egy falevélminta természetes ólomtartalmát határoztuk meg úgy, hogy lemértünk egy természetes és egy olyan szennyezett mintát, amelynél ismertük a szennyezés mértékét. Ezt követően további mintákat vizsgáltunk meg, többek között nyakláncot és gyűrűket. Végül az eredmények segítségével igazoltuk a Moseley-törvényt.

2. Elméleti összefoglaló

Az RFA módszer lényege, hogy röntgensugárzás segítségével eltávolítjuk az atom egyik belső héján lévő elektront. Az energiaminimumra való törekvés értelmében ennek helyére egy külsőbb héjról fog elektron „beugrani”. Az átmenet alatt a két héj energiaszint különbségének megfelelő energiájú γ -foton keletkezik. A keletkező foton energiája az adott anyagra jellemző, így alkalmas anyagmeghatározásra, ezért karakterisztikus röntgensugárzásnak nevezzük. A kisugárzott fotonok intenzitáseloszlását is felvéve elviekben lehetőségünk nyílik az anyagok koncentrációjának meghatározására is. Ám a gyakorlatban ez nem könnyen kivitelezhető, mivel a gerjesztés során felléphet az Auger-effektus is, azaz az atomból egy külső héjról származó elektron távozik. Másrészt fotoeffektus révén más elektronokat is kilökhethet az atomból gerjesztő sugárzás. Mérésünk pontosságát tovább rontja a mátrixhatás is [1], melynek lényege, hogy adott anyag adott koncentrációja mellett a mérési eredményt befolyásolja a körülötte lévő többi elem rendszáma és koncentrációja. Ezenkívül fellép még a belső gerjesztés is, azaz nagyobb atomok által kibocsátott karakterisztikus röntgensugárzás gerjesztheti a kisebb atomok elektronjait, így ez elrontja a mért intenzitáseloszlást. Ezen okokból kifolyólag mérésünk során legtöbbször nem foglalkoztunk koncentráció meghatározással (kivéve a falevél esetében, ahol ez volt a cél). A pontosságot növelhetjük amennyiben relatív méréseket végzünk, azaz két minta közül az egyikben a mérendő anyag mennyiségét megnöveljük ismert mértékben. Továbbá a pontosságot a többszöri mérés is javíthatja.

3. Mérési összeállítás és a mérés menete

A mérés összeállítása az alábbi ábrán látható:



1. ábra. Mérési elrendezés

A mérendő mintát egy vékony fóliára helyeztük, mely alatt a képen is látható gyűrű alakban volt a sugárzó ^{241}Am forrás, amely aktivitása $0.1 \text{ Ci} = 3.7 \text{ GBq}$ és körülbelül 60 keV energiájú fotonokat biztosít. A gyűrű alak azért fontos, hogy a gerjesztő sugárzás a mintát minden irányból egyformán érje, és a karakterisztikus röntgensugárzás a gyűrű közepén az oda helyezett detektorba juthasson. A detektor egy félvezető **SiLi** lapka, melyet folyékony nitrogénnel (LN_2) tartunk alacsony hőmérsékleten. Ez azért fontos, hogy a termikus elektronok számát a minimálisra csökkentsük. A félvezető lapra 500 V egyenfeszültséget kapcsolunk, hogy az elektron-lyuk párokat szétválassa. Ekkor a beérkező karakterisztikus röntgenfoton nagy valószínűséggel fotoeffektust hoz létre a detektorban, így az energiájával arányos impulzust tudunk detektálni. Mivel ez az impulzus elég csekély, így a jelet feszültséggé konvertáltuk és 610-szeres erősítést hajtottunk végre. A kimenő jelet egy Palmtop MCA-8k nevű analízátorba vezettük, ami 1024 digitális csatornára osztotta fel az energiaértékeket és rögzítette az impulzusokat beütésszámként. A mérést számítógép segítségével vezéreltük. Természetesen mivel sugárveszélyes mérést hajtottunk végre, ezért a teljes elrendezés egy kellően vastag ólomlemez és ólomüveg mögött helyezkedett el. A mintákat csipesz segítségével, tükörből figyelve helyeztük a tartóba. Fluoreszcenciáról lévén szó, a kivett mintákat bátran megfoghattuk kézzel, mivel a legerjesztődési effektus 10^{-10} s nagyságrendű.

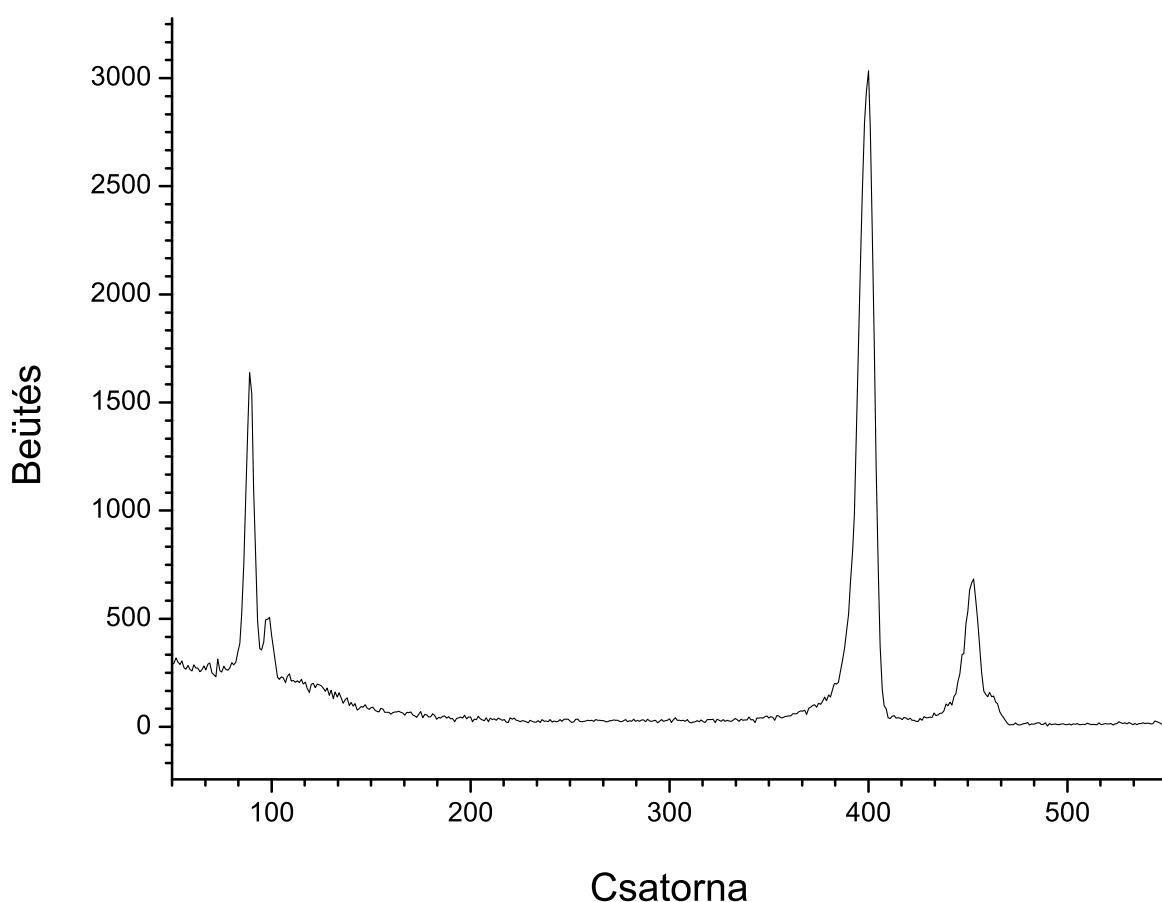
4. Mért eredmények

4.1. Kalibráció

Mielőtt tényleges anyagvizsgálatot kezdtünk volna el, fel kellett vennünk a háttér spektrumát. Ezt később a program automatikusan levonta a mért eredményekből. Ezután két ismert anyag, mangán és ón spektrumát vettük fel. Mivel mindkét fémnek a mért spektrumban csak a K_α csúcsa látszott, így alkalmas volt a kalibrációra:

Elem	Csatorna	E_{K_α} (eV)
Mn	89	5898
Sn	400	25270

A mért görbe:



2. ábra. Kalibrációs görbe

A mért pontokra illesztett egyenes:

$$E(x) = Ax + B = 62.2894x + 354.2444 \text{ eV}, \quad (1)$$

ahol x a csatornaszám. A két mért elemen kívül látható minden grafikonon a „Compton hegy” és az **Am** csúcsa is, ezeket természetesen kellő módon kezeljük.

4.2. A mért minták

- Mn és Sn minták kalibráláshoz
- A gyártó által a mérőberendezéshez mellékelt kevert összetételű kapszula
- Ismeretlen ólomtartalmú falevél (t betűvel ellátott pasztilla)
- Ismert tömegű ólommal szennyezett falevél (p betűvel ellátott pasztilla)
- Bizmut (**Bi**) minta
- Wolfram (**W**) minta
- Ezüstgyűrűnek hitt fehérarany gyűrű
- Régebbi aranynyaklánc
- Ezüstgyűrű cirkónium kővel

4.3. Mért eredmények kiértékelésének menete

Mérésünk során a detektorral a K_α , K_β , L_α , L_β és L_γ átmeneteket tudtuk felvenni. A K átmenet azt jelenti, hogy az elektron a K héjra ugrik, az L pedig azt jelenti, hogy az L héjra. Az α , β , γ pedig azt, hogy hány héjjal feljebből ugrik, például a K_α rövidítés egy $L \rightarrow K$ átmenetet jelent. Minden átmenetnek a felvett grafikonokon karakterisztikus képe van, ami alapján be lehet őket azonosítani. K vonalak esetén a K_α intenzitása 3–7-szer nagyobb, mint a K_β -é, aminek viszont magasabb az energiája. A két görbe általában együtt detektálható, bár néhány esetben a K_β -t a zaj miatt nem láthattuk. Hasonlóan az L átmenetekre, itt három csúcsot láttunk, ahol az intenzitások aránya rendre 1 : 1.2 : 0.1 volt. Minden mintát így legalább két vonallal kellett azonosítanunk. A mért grafikonokat a laborban található kiértékelő program segítségével dolgoztuk fel. Feltételeztük, hogy minden intenzitáscsúcs Gauss-eloszlást mutat, így a programmal az intervallumokat és toleranciahatárt kellően megválasztva, haranggörbét illesztettünk (természetesen a kalibráció elvégzése után). Az illesztés megkönnyítése érdekében, megbecsültük a szórást, ami a félértékszélesség fele. Esetünkben leolvasással $\Delta\bar{\varepsilon} = 7.75$, azaz $\sigma = \frac{\Delta\bar{\varepsilon}}{2} \approx 3.75$ -nek adódott. Az illesztés után engedték, hogy a program tovább finomítsa az illesztett paramétereket. Ezt követően a program egy .pea kiterjesztésű fájlba mentette el a következő adatokat: csúcs indexe, csatornaszáma hibával, szórása, görbe alatti terület hibával, energia hibával és a korrigált terület hibával.

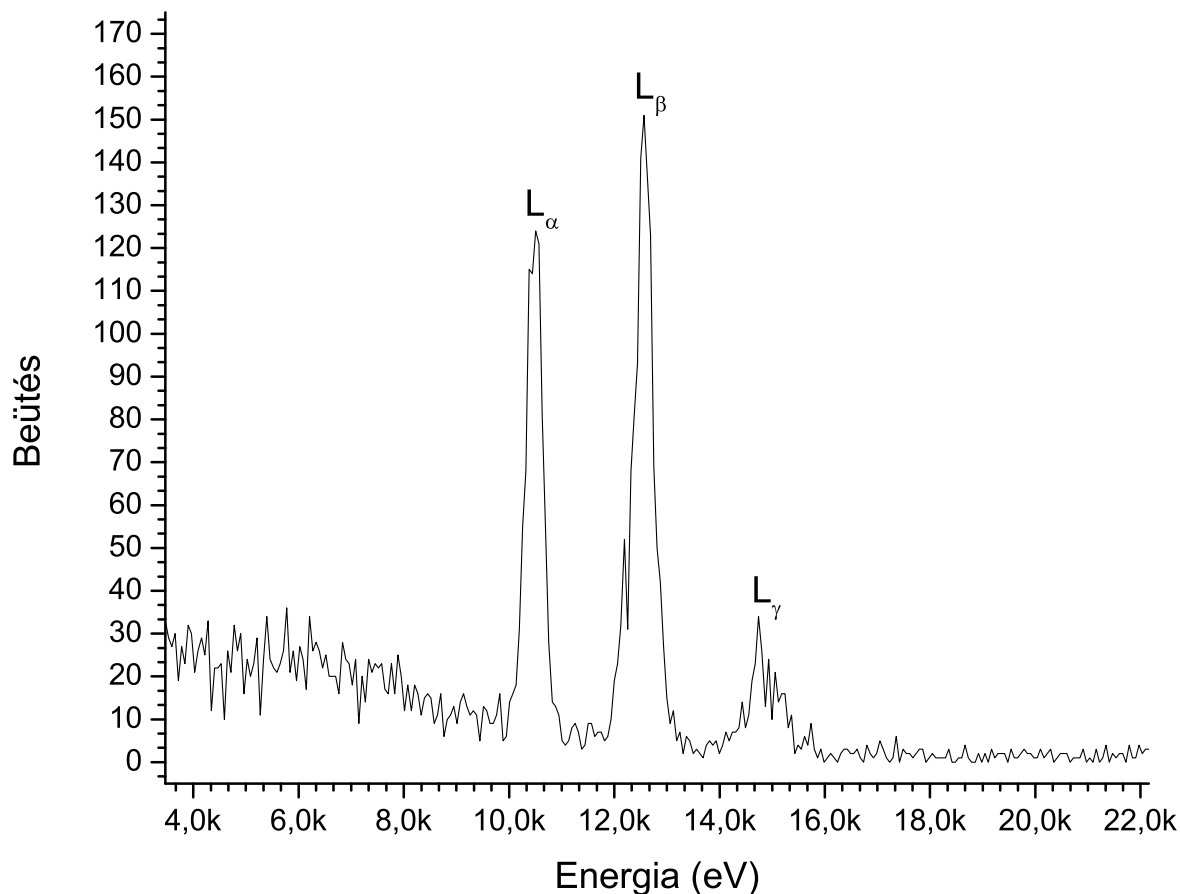
4.4. Félértékszélesség és a mérőberendezés felbontóképessége

RFA esetén a felbontóképességet a vas K_α átmenetének félértékszélességével jellemezzük. A gyártó által a mérőberendezéshez mellékelt kapszulából származó adatok segítségével számoltuk ki. Ebben a mintában $\sigma = 2.89$, azaz $\Delta\bar{\varepsilon} = 5.78$ -nak adódott. Ezt az adatot a kalibrációs egyenes meredekségével megszorozva megkaptuk a műszer felbontóképességét:

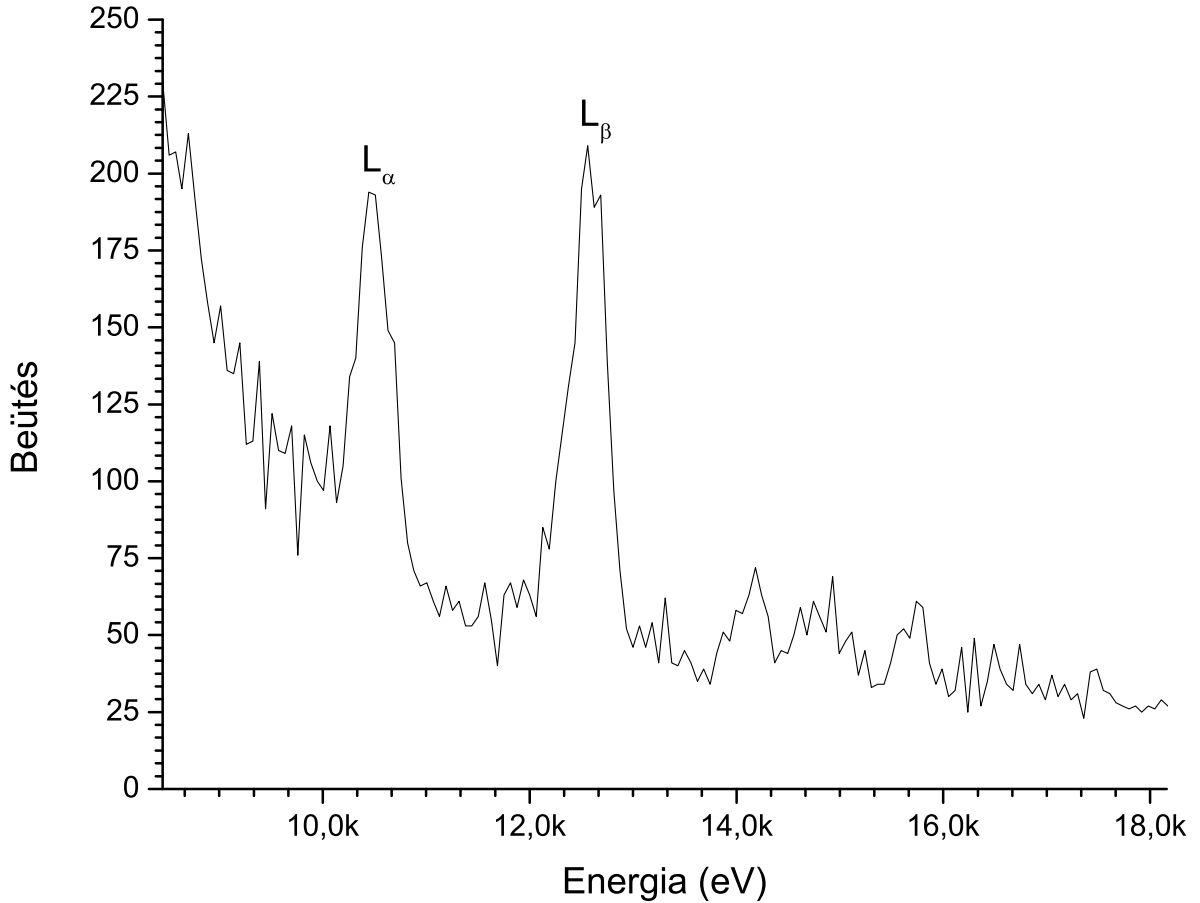
$$E_{\text{fel}} = 62.2894 \cdot 5.78 = 360 \text{ eV}. \quad (2)$$

4.5. Falevél minta ólomtartalmának meghatározása

Az ólomtartalom meghatározásához relatív mérést végeztünk, azaz vettünk két azonosnak tekintett falevél mintát és az egyikhez ismert $m = 250 \mu\text{g}$ ólmot kevertünk. A hiba minimalizálása érdekében megköveteltük, hogy mindkét minta esetén azonos beütésszámunk legyen. Ennek értelmében a szennyezett (p jelű) mintán $\tau_p = 180$ másodperces mérést hajtottunk végre, majd a természetes (t jelű) mintán $\tau_t = 2480$ másodperceset. A két mért grafikon:



3. ábra. p mintán végzett mérés



4. ábra. t mintán végzett mérés

A görbe alatti területek segítségével meg tudtuk határozni az ismeretlen ólom mennyiségét:

$$\frac{T_t}{T_p} = \frac{M\tau_t}{(M+m)\tau_p}, \quad (3)$$

ahol M az ismeretlen ólom tömege, T_i az átmenethez tartozó csúcs alatti terület. Az egyenletet M -re rendezve:

$$M = \frac{\tau_p m T_t}{T_p \tau_t - T_t \tau_p}. \quad (4)$$

Mivel az egyik mérés során az L_γ átmenet nem látszik teljesen kivehetően, így kiértékeléskor csak a másik két csúcs alatti területet vettük figyelembe. A mért adatok:

Minta	T_α (eV)	T_β (eV)	τ (s)
p	749 ± 51	1008 ± 41	180
t	688 ± 81	947 ± 75	2480

Ahol $[E]$ azt jelöli, hogy a terület energia dimenziójú. Behelyettesítéskor lényegtelen, hogy ide a csatornaszámot vagy az eV-ben megadott értéket írjuk-e be. Innen a számolt ólom mennyiségek:

$$M_\alpha = 17.86 \pm 4.21 \mu\text{g}, \quad (5)$$

$$M_\beta = 18.29 \pm 2.90 \mu\text{g}, \quad (6)$$

ahol a hibát a következő módon számoltuk:

$$\Delta M = M \left(\left| \frac{\Delta T_t}{T_t} \right| + \max \left\{ \left| \frac{\Delta T_t}{T_t} \right|, \left| \frac{\Delta T_p}{T_p} \right| \right\} \right). \quad (7)$$

Tehát az ismeretlen ólom tömege:

$$\overline{M} = 18.10 \pm 3.55 \mu\text{g}. \quad (8)$$

4.6. Mért mintákban lévő anyagok azonosítása

4.6.1. Mn és Sn minták

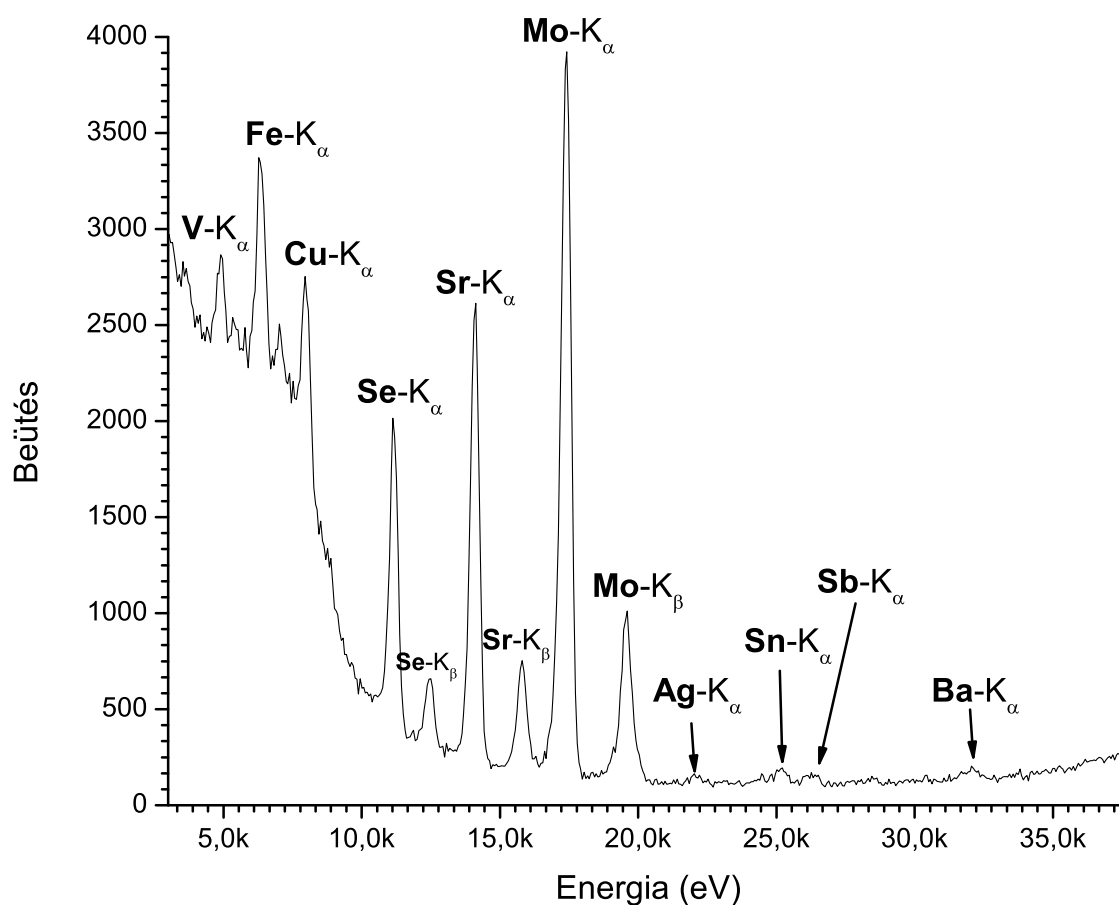
Ezeket a mintákat csak a kalibráláshoz használtuk, így részletesebb kiértékelésüket nem végeztük el a laborban.

4.6.2. Kevert összetételű kapszula

i	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	$T_{\text{kor}} (eV)$	$E_{\text{irod}} (eV)$	Átmenet	Elem
1	73.76 ± 0.318	2.08	2292 ± 389	4948.47 ± 19.83	2307 ± 335	4952	K_{α}	V
2	97.19 ± 0.151	2.39	6477 ± 485	6408.35 ± 9.38	6506 ± 361	6403	K_{α}	Fe
3	123.51 ± 0.146	2.24	5256 ± 387	8047.32 ± 9.12	5282 ± 314	8047	K_{α}	Cu
4	174.45 ± 0.062	2.27	8463 ± 233	11220.9 ± 3.89	8491 ± 204	11221	K_{α}	Se
5	195.27 ± 0.194	2.37	2027 ± 188	12517.67 ± 12.1	2050 ± 145	12495	K_{β}	Se
6	221.44 ± 0.045	2.5	14323 ± 264	14147.57 ± 2.79	14392 ± 220	14164	K_{α}	Sr
7	248.89 ± 0.121	2.7	3458 ± 150	15857.25 ± 7.51	3473 ± 134	15834	K_{β}	Sr
8	274.34 ± 0.032	2.77	24983 ± 247	17442.99 ± 1.96	25361 ± 257	17478	K_{α}	Mo
9	309.56 ± 0.091	3	5583 ± 152	19636.64 ± 5.65	5655 ± 146	19607	K_{β}	Mo
10	349.88 ± 1.052	3.08	299 ± 123	22148.33 ± 65.51	326 ± 84	22162	K_{α}	Ag
11	399.37 ± 0.701	3.33	537 ± 135	25230.76 ± 43.63	570 ± 116	25270	K_{α}	Sn
12	417.05 ± 0.765	3.33	424 ± 123	26332.01 ± 47.65	450 ± 109	26358	K_{α}	Sb
13	509.36 ± 0.947	5.21	704 ± 127	32081.75 ± 58.99	768 ± 114	32191	K_{α}	Ba

Biztosan tudtuk azonosítani két csúcsa alapján a mintában a szelént, a stronciumot és a molibdént. A többi elem K_{β} -hoz tartozó csúcsa vélhetően más elem egyéb csúcsával esett egybe, esetleg elveszett a „Compton-hegy zajában”, ezért nem látjuk. Itt T_{kor} az intenzitásösszeget (azaz az összegzett beütésszámot) jelenti, ami a tényleges görbe alatti terület és a mérésünkből származik, T pedig az illesztett Gauss-görbe alatti matematikai terület.

A mért grafikon:



5. ábra. Gyártó által mellékelt keverék kapszula

4.6.3. *t* jelű falevél

<i>i</i>	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	T_{korrr} (eV)	E_{irod} (eV)	Átmenet	Elem
1	163.82 ± 0.297	2.49	688 ± 81	10558.29 ± 18.47	717 ± 75	10549	L_{α}	Pb
2	197.01 ± 0.217	2.60	947 ± 75	12626.04 ± 13.53	988 ± 69	12611	L_{β}	Pb
3	221.95 ± 0.943	2.46	185 ± 103	14179.44 ± 58.71	192 ± 59	14164	K_{α}	Sr

A falevélben két vonal segítségével azonosítani tudtuk az ólmot, ezen kívül vélhetően stroncium is található benne.

4.6.4. *p* jelű falevél

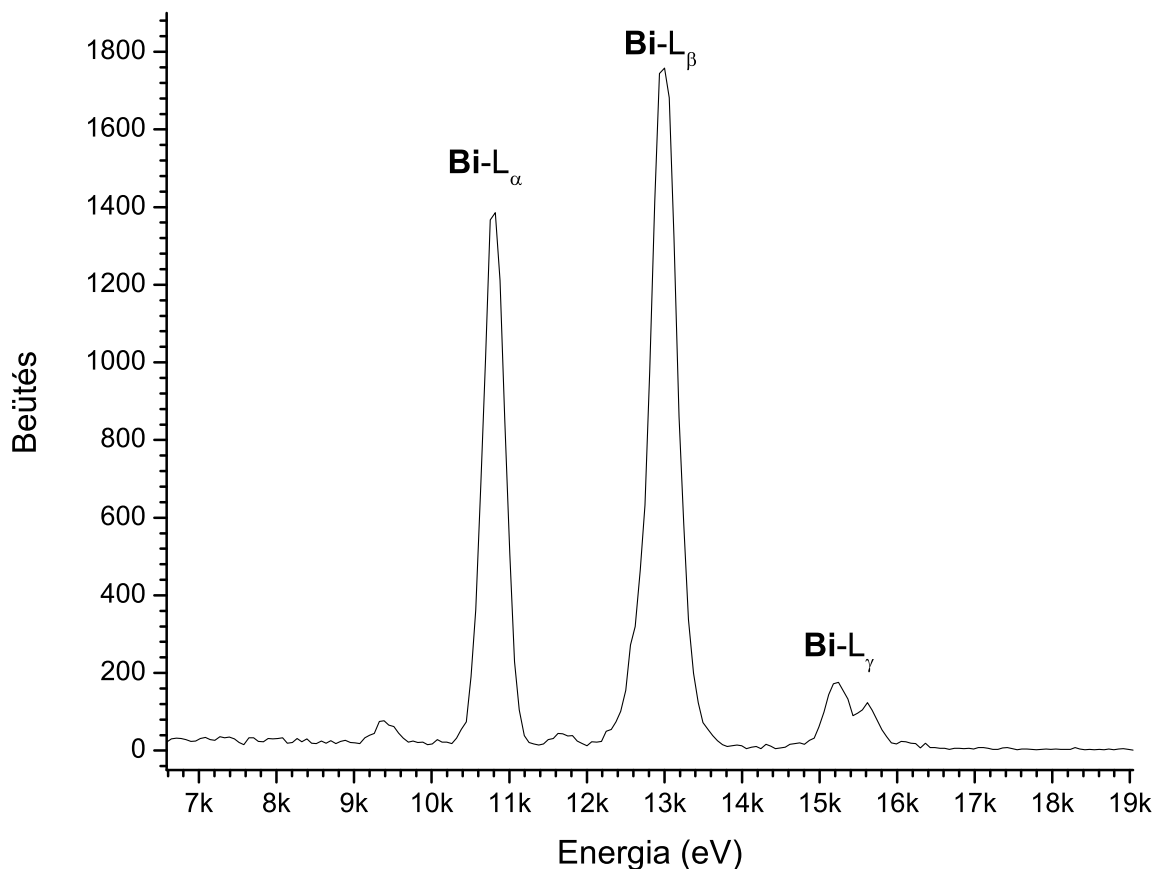
<i>i</i>	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	T_{korrr} (eV)	E_{irod} (eV)	Átmenet	Elem
1	163.58 ± 0.172	2.51	749 ± 51	10543.40 ± 10.71	766 ± 46	10549	L_{α}	Pb
2	196.85 ± 0.169	3.25	1008 ± 41	12616.15 ± 10.53	1067 ± 50	12611	L_{β}	Pb

A *p* jelű mintában is tisztán azonosítható az ólom.

4.6.5. Bizmut minta

i	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	$T_{\text{kor}} (eV)$	$E_{\text{irod}} (eV)$	Átmenet	Elem
1	146.30 ± 0.317	2.12	294 ± 42	9467.46 ± 19.74	306 ± 39			?
2	168.72 ± 0.038	2.24	7757 ± 107	10863.61 ± 2.35	7774 ± 130	10836	L_{α}	Bi
3	203.80 ± 0.041	2.78	11396 ± 136	13048.55 ± 2.58	11545 ± 162	13021	L_{β}	Bi
4	242.21 ± 0.185	4.62	1550 ± 50	15441.54 ± 11.54	1934 ± 67	15244	L_{γ}	Bi

A mintában három csúcs alapján sikeresen azonosítottuk a bizmutot, ezen kívül a kiértékelő program talált még egy csúcsot is 9467 eV-nál, ami előfordulhat, hogy a platina L_{α} csúcsa, viszont ekkora látnunk kellene az L_{β} csúcsot is. Előfordulhat, hogy ez már rácsúszik a bizmut L_{α} vonalára. A mért grafikon:



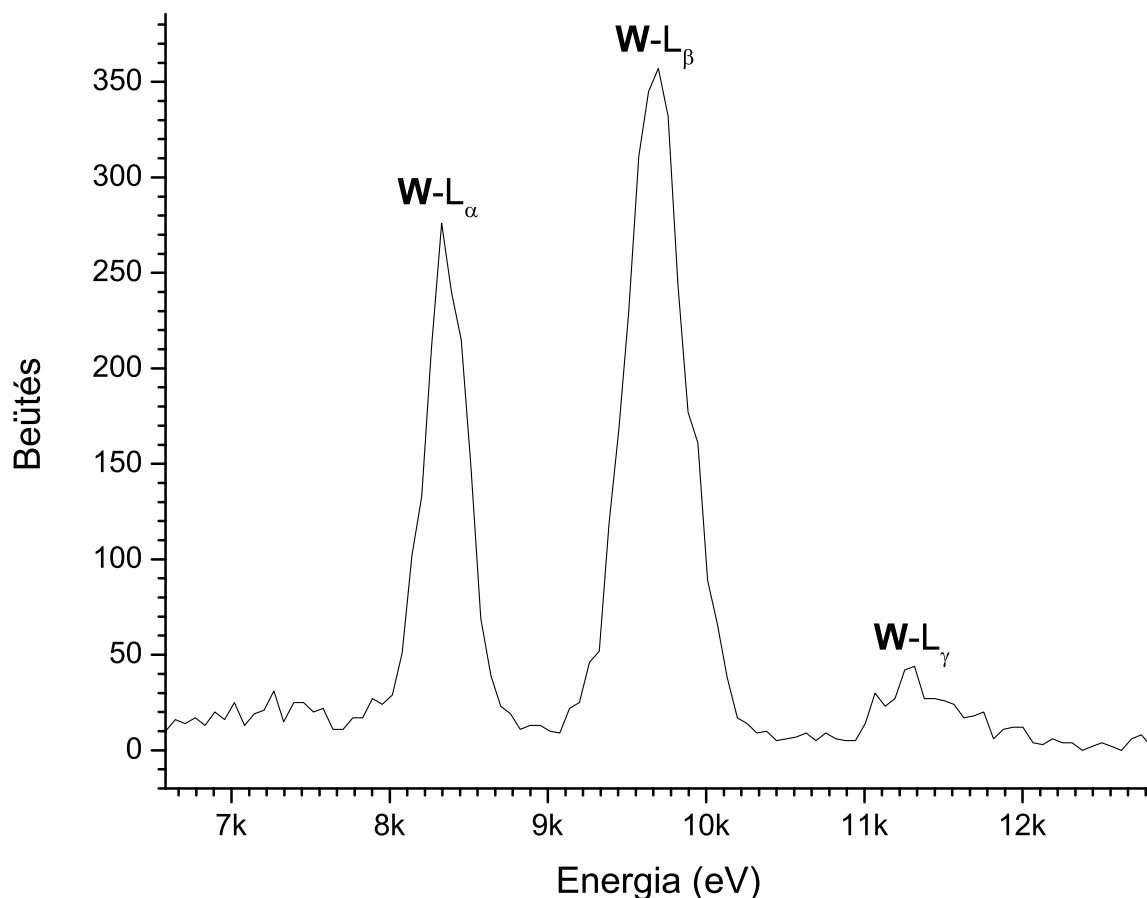
6. ábra. Bizmut minta

4.6.6. Wolfram minta

i	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	$T_{\text{kor}} (eV)$	$E_{\text{irod}} (eV)$	Átmenet	Elem
1	129.41 ± 0.105	2.17	1334 ± 56	8414.80 ± 6.52	1355 ± 60	8396	L_{α}	W
2	150.82 ± 0.102	3.24	2765 ± 82	9748.65 ± 6.36	2805 ± 80	9670	L_{β}	W
3	178.76 ± 0.505	4.54	336 ± 38	11489.32 ± 31.46	464 ± 36	11283	L_{γ}	W

A wolframot sikeresen azonosítottuk három L vonala alapján.

A mért grafikon:



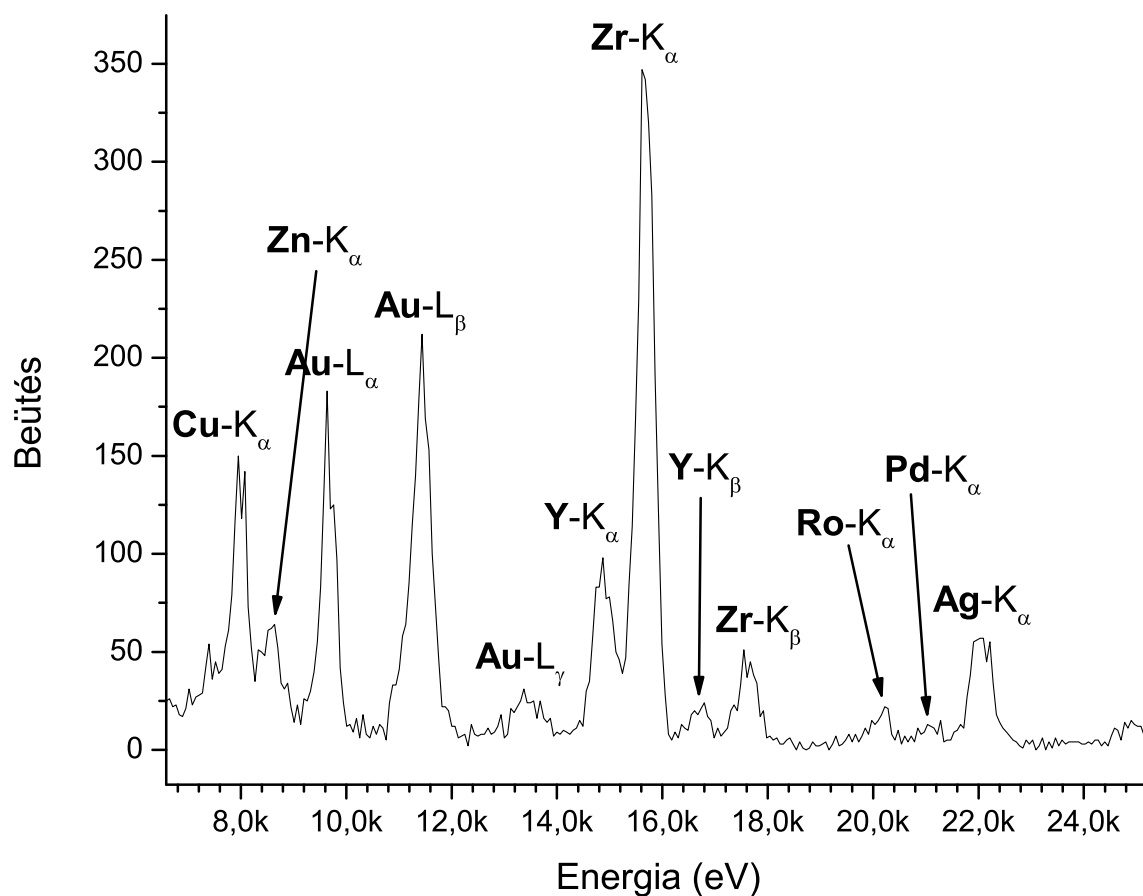
7. ábra. Wolfram minta

4.6.7. Ezüstgyűrűnek hitt fehérarany gyűrű

i	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	T_{korr} (eV)	$E_{\text{iród}}$ (eV)	Átmenet	Elem
1	123.40 ± 0.152	2.15	574 ± 34	8040.66 ± 9.47	601 ± 38	8047	K_{α}	Cu
2	132.92 ± 0.289	2.15	211 ± 26	8633.70 ± 18.02	220 ± 26	8638	K_{α}	Zn
3	150.39 ± 0.124	2.15	754 ± 34	9721.68 ± 7.74	790 ± 44	9711	L_{α}	Au
4	178.67 ± 0.159	3.00	1231 ± 58	11483.34 ± 9.92	1284 ± 58	11439	L_{β}	Au
5	210.76 ± 0.437	2.72	127 ± 17	13482.15 ± 27.21	131 ± 18	13379	L_{γ}	Au
6	234.33 ± 0.157	2.72	610 ± 30	14950.32 ± 9.76	627 ± 32	14957	K_{α}	Y
7	246.97 ± 0.081	2.72	2262 ± 53	15737.92 ± 5.02	2326 ± 69	15774	K_{α}	Zr
8	263.44 ± 1.484	8.58	12289 ± 9773	16763.51 ± 92.43	11355 ± 6700	16736	K_{β}	Y
9	279.22 ± 1.394	8.58	13172 ± 10096	17746.75 ± 86.82	12170 ± 6731	17666	K_{β}	Zr
10	349.46 ± 0.253	3.14	438 ± 27	22121.69 ± 15.74	488 ± 35	22162	K_{α}	Ag

A gyűrűt kezdetben ezüstnek gondoltuk, ám a mérés során kiderült, hogy az valójában fehéraranyból készült, aminek persze nagyon örültünk 😊. A fehérarany készítéskor az aranyhoz jelentős mennyiségű ezüstöt, rodiumot és palládiumot kevernek [6]. A grafikonon ezek jól látszanak, sajnos a kiértékelőprogram ezek közül csak az ezüstöt találta meg. Az aranyat mindhárom vonala segítségével sikerült azonosítanunk, ezen kívül megerősítést nyertünk, hogy a kő valóban cirkóniumból van. Továbbá az ittriumot is két vonala alapján tudtuk azonosítani.

A mért grafikon:



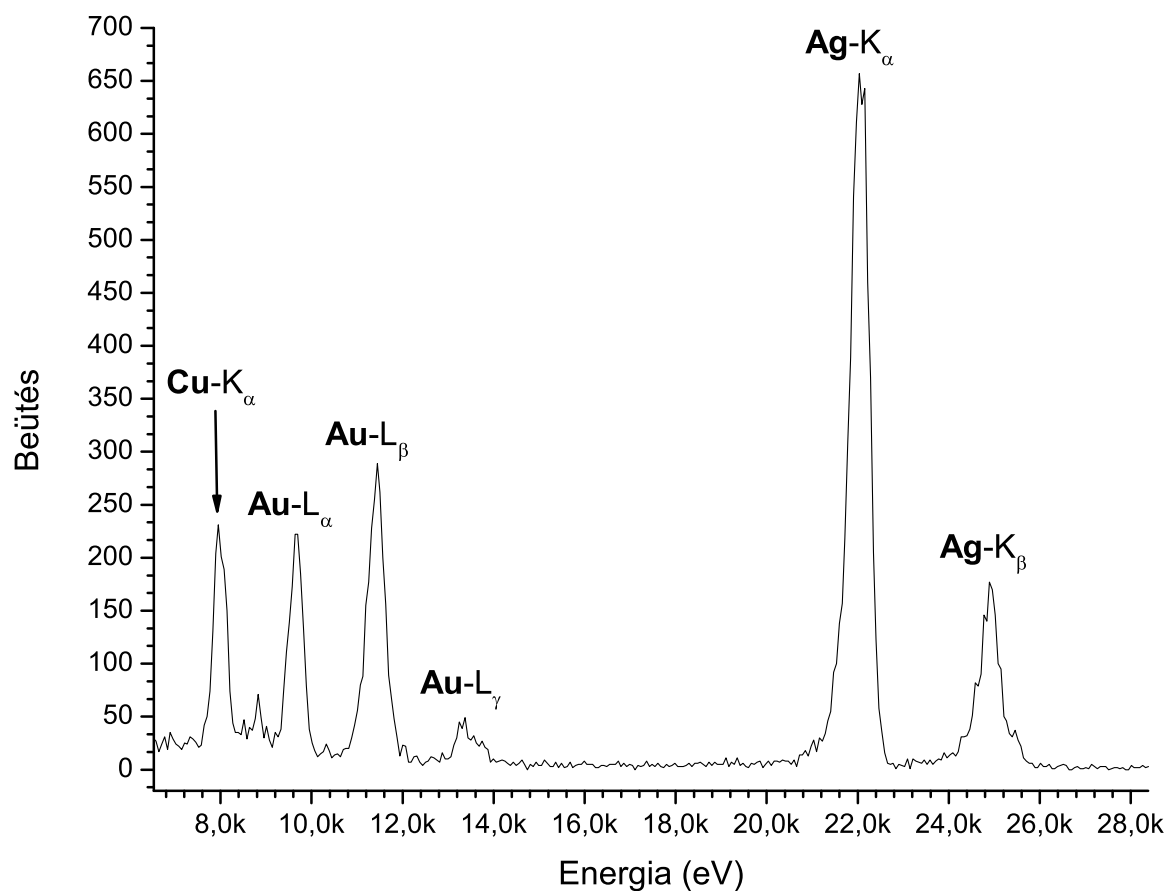
8. ábra. Ági fehérarany gyűrűje

4.6.8. Régebbi aranynyaklanc

<i>i</i>	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	T_{kor} (eV)	E_{irod} (eV)	Átmenet	Elem
1	123.43 ± 0.125	2.10	1071 ± 55	8042.75 ± 7.78	1092 ± 58	8047	K_{α}	Cu
2	150.30 ± 0.138	2.62	1421 ± 83	9716.33 ± 8.61	1443 ± 68	9711	L_{α}	Au
3	178.54 ± 0.123	3.16	1968 ± 65	11475.12 ± 7.68	2013 ± 71	11439	L_{β}	Au
4	210.92 ± 0.556	4.50	370 ± 52	13492.51 ± 34.66	421 ± 37	13379	L_{γ}	Au
5	349.06 ± 0.078	3.13	4906 ± 110	22097.20 ± 4.87	5014 ± 111	22162	K_{α}	Ag
6	395.01 ± 0.195	3.72	1257 ± 56	24959.25 ± 12.14	1329 ± 58	24942	K_{β}	Ag

Az aranynyaklancban három vonala alapján sikerült azonosítani az aranyat, illetve kettő alapján az ezüstöt. Látszik továbbá, hogy rézzel szennyezték, ami főleg régebbi készítésű aranyékekre jellemző.

A mért grafikon:



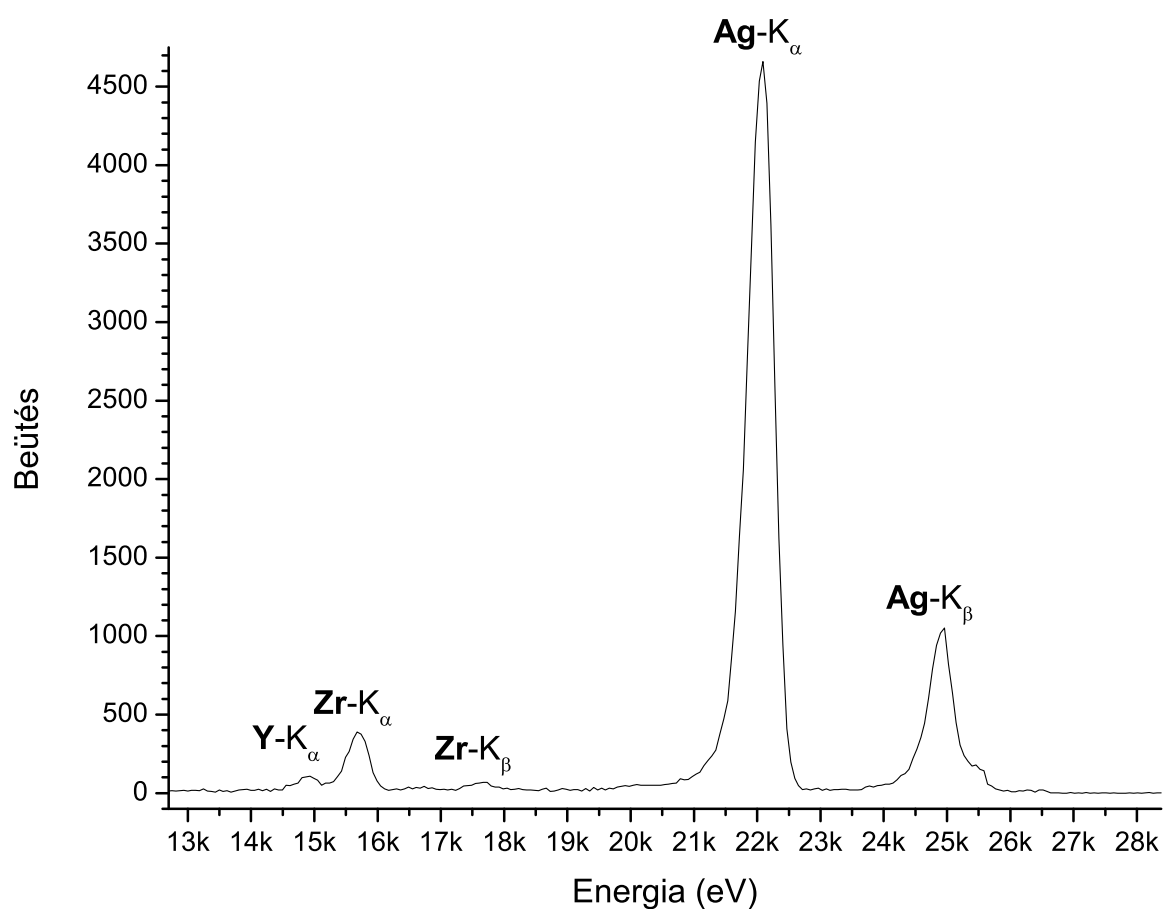
9. ábra. Bence aranylánca

4.6.9. Ezüstgyűrű cirkónium kővel

i	Csatorna	σ	T (eV)	E (eV)	T_{kor} (eV)	E_{irod} (eV)	Átmenet	Elem
1	162.16 ± 4.120	4.76	51 ± 50	10455.02 ± 256.63	108 ± 38			?
2	234.60 ± 0.189	2.70	542 ± 40	14967.48 ± 11.75	555 ± 39	14957	K_{α}	Y
3	246.98 ± 0.090	2.70	2430 ± 63	15738.25 ± 5.58	2488 ± 80	15774	K_{α}	Zr
4	278.43 ± 0.443	3.01	368 ± 58	17697.19 ± 27.61	391 ± 45	17666	K_{β}	Zr
5	349.04 ± 0.026	3.25	36942 ± 245	22095.74 ± 1.64	38089 ± 289	22162	K_{α}	Ag
6	395.02 ± 0.070	3.49	7395 ± 119	24960.10 ± 4.35	7714 ± 137	24942	K_{β}	Ag

A gyűrűben sikeresen azonosítottuk az ezüstöt és a cirkóniumot, ahogyan vártuk. Az ittrium K_{β} -ja beleesik a zirkónium K_{α} csúcsába, ezért nem látszik. Az első elemet nem sikerült azonosítani, ám ennek a hibája nagyon magas, így ez vélhetően csak zaj (vagy a „Compton-hegy” része).

A mért grafikon:



10. ábra. Ági ezüstgyűrűje

4.7. A Moseley-törvény igazolása

A Moseley-törvény értelmében a karakterisztikus röntgen-fotonok energiája a rendszámától a következőképp függ:

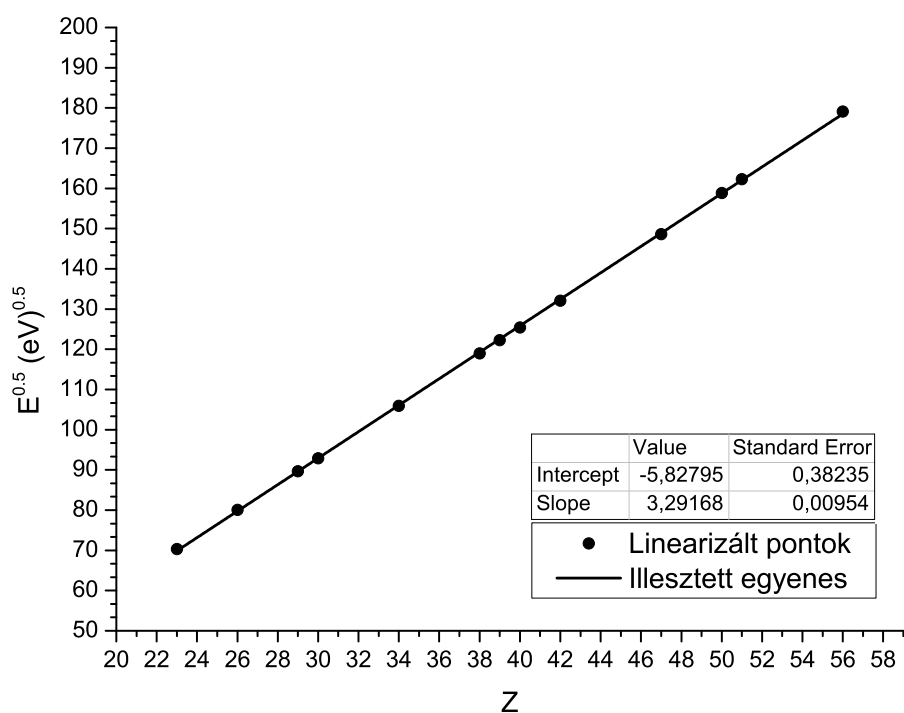
$$E(Z) = A(Z - B)^2, \quad (9)$$

ahol A és B illesztendő konstansok. B paraméter azért szerepel az egyenletben, mivel a többi héj elektron leárnyékolja a mag pozitív töltését. Az egyenletet átrendezéssel linearizálhatjuk:

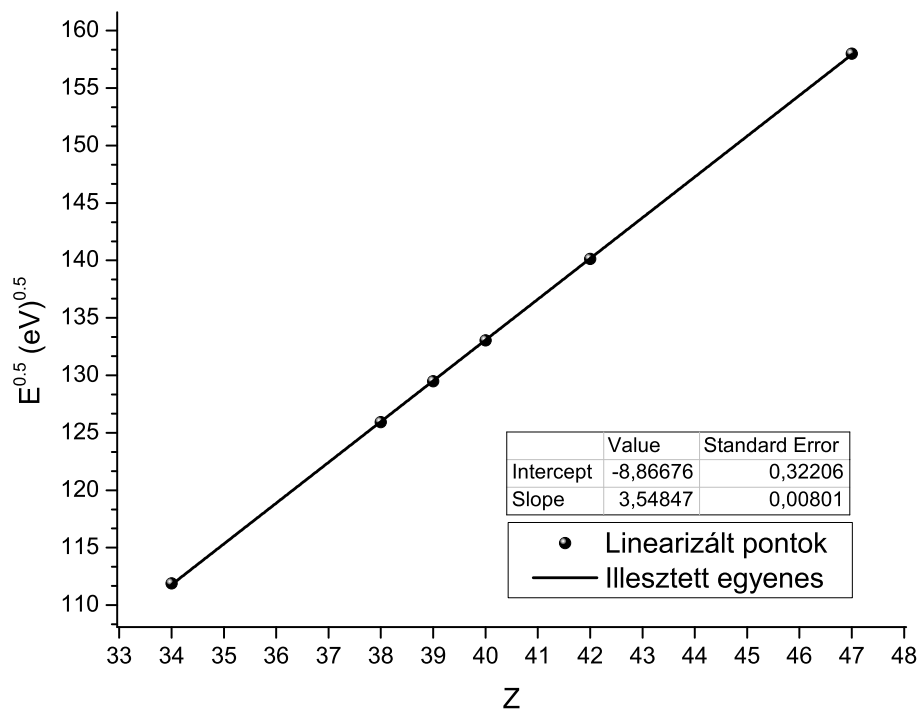
$$\sqrt{E(Z)} = Z\sqrt{A} - B\sqrt{A}. \quad (10)$$

A mért pontokra egyenest illesztve megkapjuk A és B értékét. Ahol többször is kimértük ugyanazt az elemet, ott a kisebb hibájú adatot vettük figyelembe.

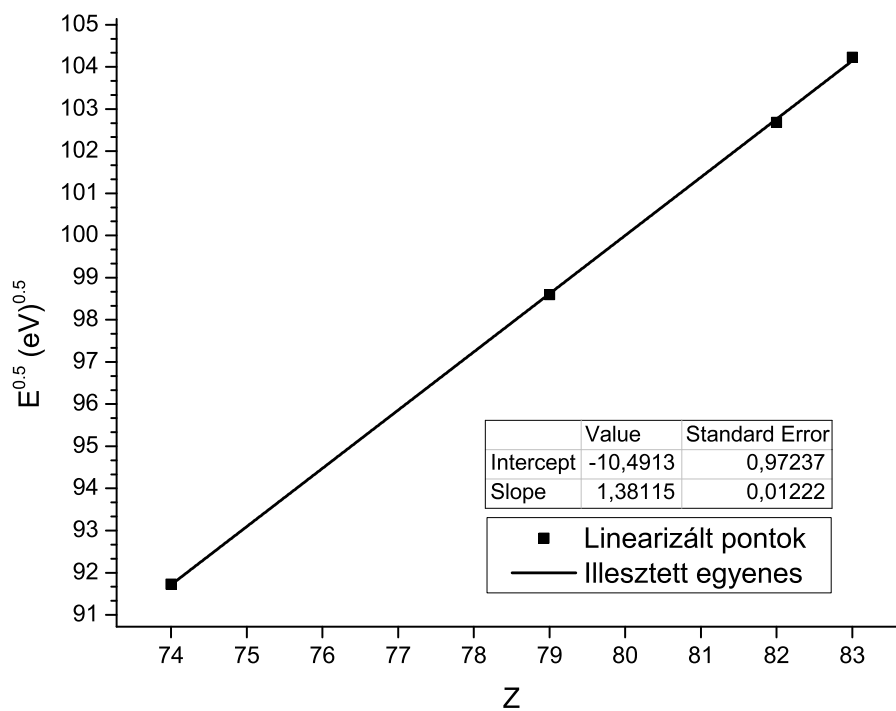
A linearizált pontok és a rájuk illesztett egyenesek:



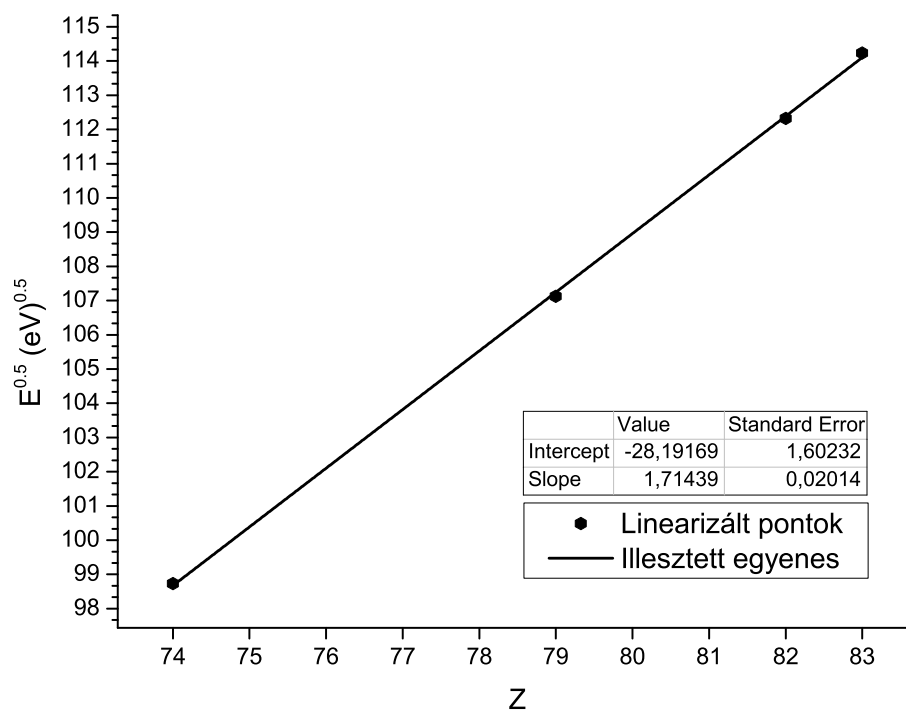
11. ábra. K_{α} átmenet



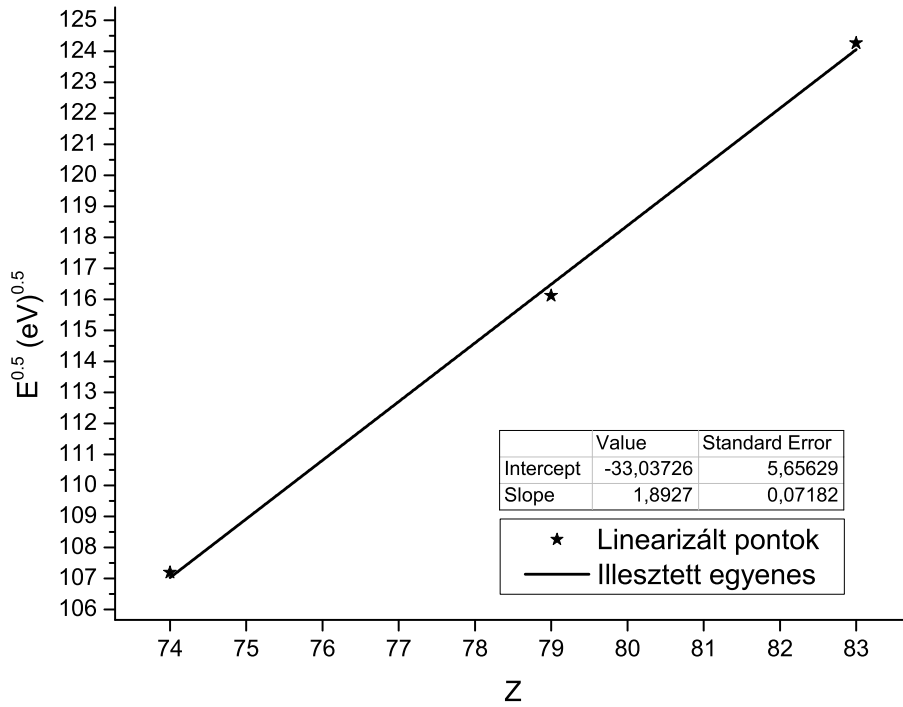
12. ábra. K_{β} átmenet



13. ábra. L_{α} átmenet



14. ábra. L_{β} átmenet



15. ábra. L_γ átmenet

A számolt paraméterek:

Átmenet	A (eV)	B
K_α	$10.835 \pm 9 \cdot 10^{-5}$	1.77 ± 0.12
K_β	$12.592 \pm 6 \cdot 10^{-5}$	2.5 ± 0.09
L_α	$1.908 \pm 1.5 \cdot 10^{-4}$	7.6 ± 0.77
L_β	$2.94 \pm 4 \cdot 10^{-4}$	16.4 ± 1.1
L_γ	3.58 ± 0.005	17.5 ± 3.7

Ahol a hibát a már ismert módon számoltuk. Az illesztett görbék értelmében lehetőségünk nyílik egyéb anyagok átmeneteinek meghatározására is. Mérésünk során sajnos nem volt mód több L_γ átmenet felvételére, így ennek a hibája jelentősen magasabb, mint a többié.

5. Összegzés

Mérésünk során megismertünk egy olyan roncsolásmentes anyagvizsgálati módszert, melynek segítségével gyakorlatilag bármilyen használati tárgy összetételét meg tudjuk határozni. Ez nagyon hasznos lehet a mindennapi életünk során, például ha bizonytalanok vagyunk abban, hogy átverték-e ékszervásárlás során, vagy hogy kimutassunk egy talajbeli nehézfém-szennyezést, ami környezetvédelmileg lehet érdekes. A mérés további fizikai haszna, hogy igazoltuk a Moseley-törvényt, mely a karakterisztikus röntgensugárzás energiája és a rendszám között teremt kapcsolatot.

Hivatkozások

[1] *Kiadott jegyzet:*

<http://wigner.elte.hu/koltai/labor/parts/9rfa.pdf>

[2] *Modern fizika laboratórium*, ELTE Eötvös kiadó, Budapest, 1995.

[3] Laborban adott táblázat az adatok meghatározásához

[4] Kiss Dezső, Horváth Ákos, Kiss Ádám: *Kísérleti atomfizika*, ELTE Eötvös kiadó, Budapest, 1998.

[5] Geszti Tamás: *Kvantummechanika*, Typotex, Budapest, 2007.

[6] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Fehérrarany>