

# "Investigații ale obiectelor de patrimoniu cultural cu fascicule de ioni accelerați la acceleratorul Tandetron™ de 3 MV"

Radu Florin ANDREI<sup>1,2</sup>, D. Iancu<sup>1</sup>, D. Mirea<sup>1</sup>, A. State<sup>1</sup>, I. Burducea<sup>1</sup>, V. Moșu<sup>1</sup>, M. Straticiuc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institutul Național pentru Fizică și Inginerie Nucleară - Horia Hulubei*

<sup>2</sup>*Universitatea Politehnică din București*

*Contribuții IFIN-HH la studiul și conservarea patrimoniului cultural - 2018*

# Acceleratorul Tandetron™ de 3 MV

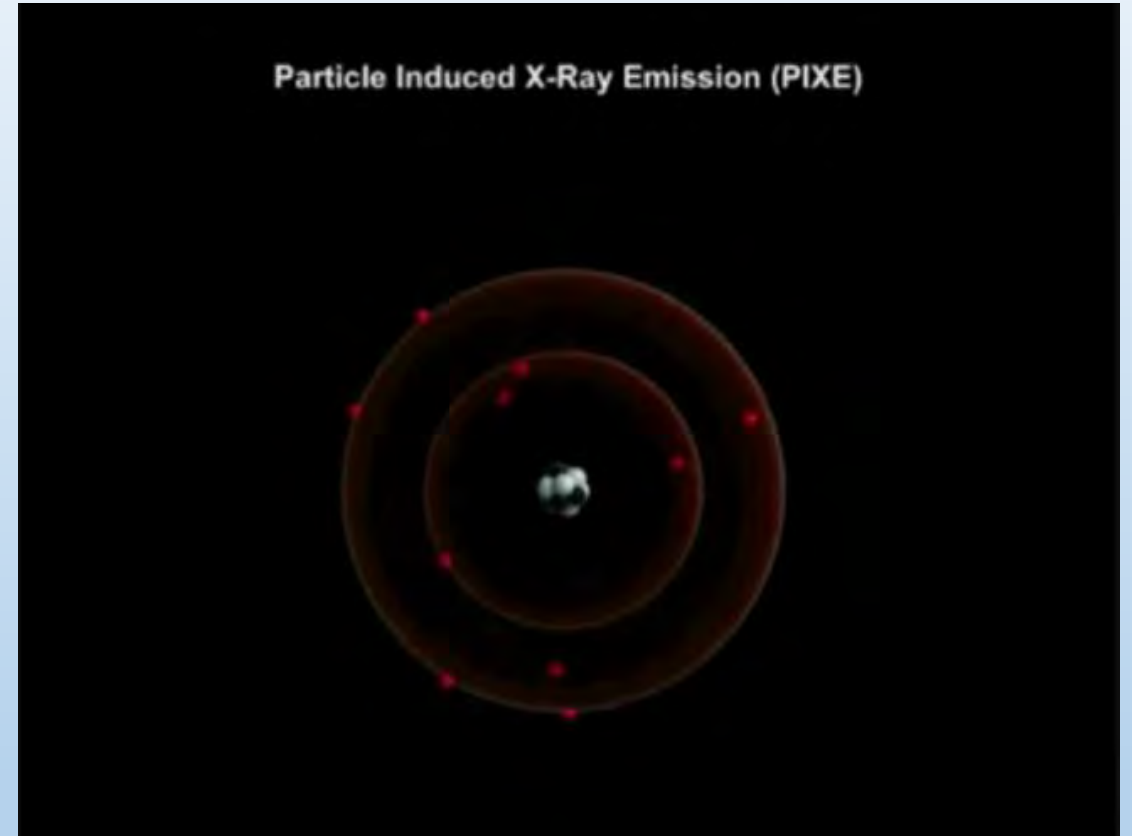


Acceleratorul Tandetron™ de 3 MV din cadrul Institutului Național de Cercetare și Dezvoltare pentru Fizică și Inginerie Nucleară, Horia-Hulubei

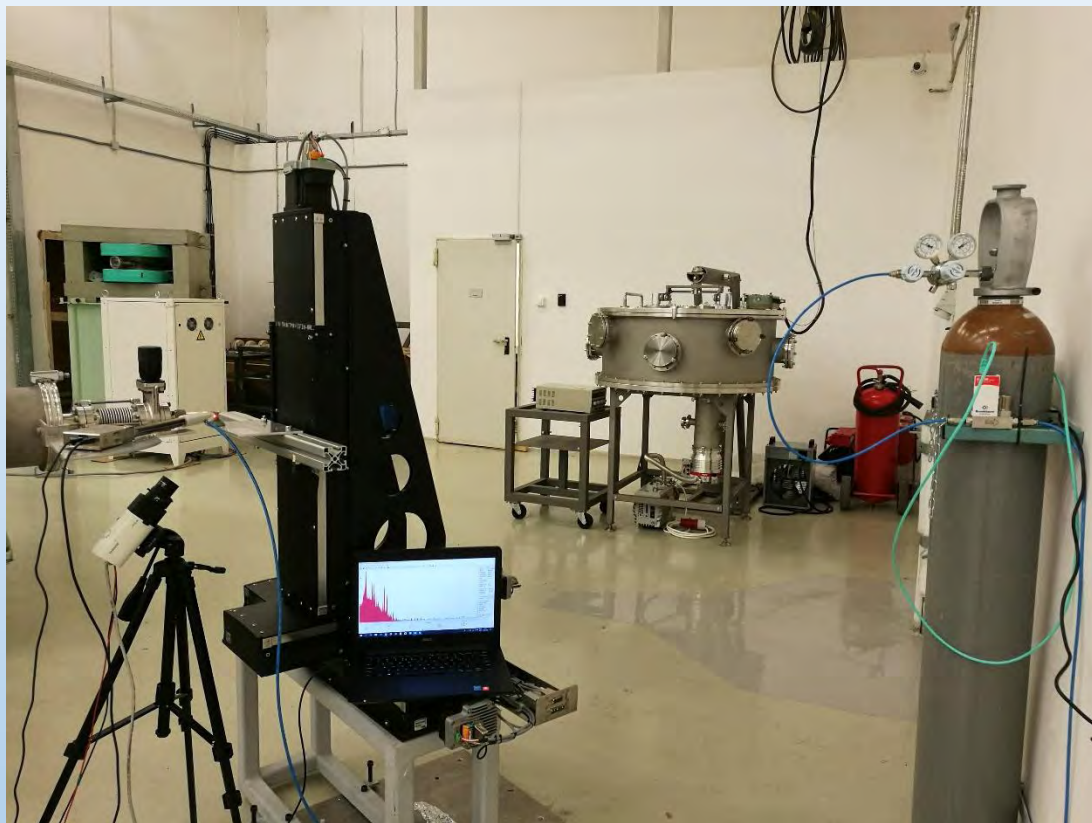
# Metoda PIXE

## Parametrii metodei:

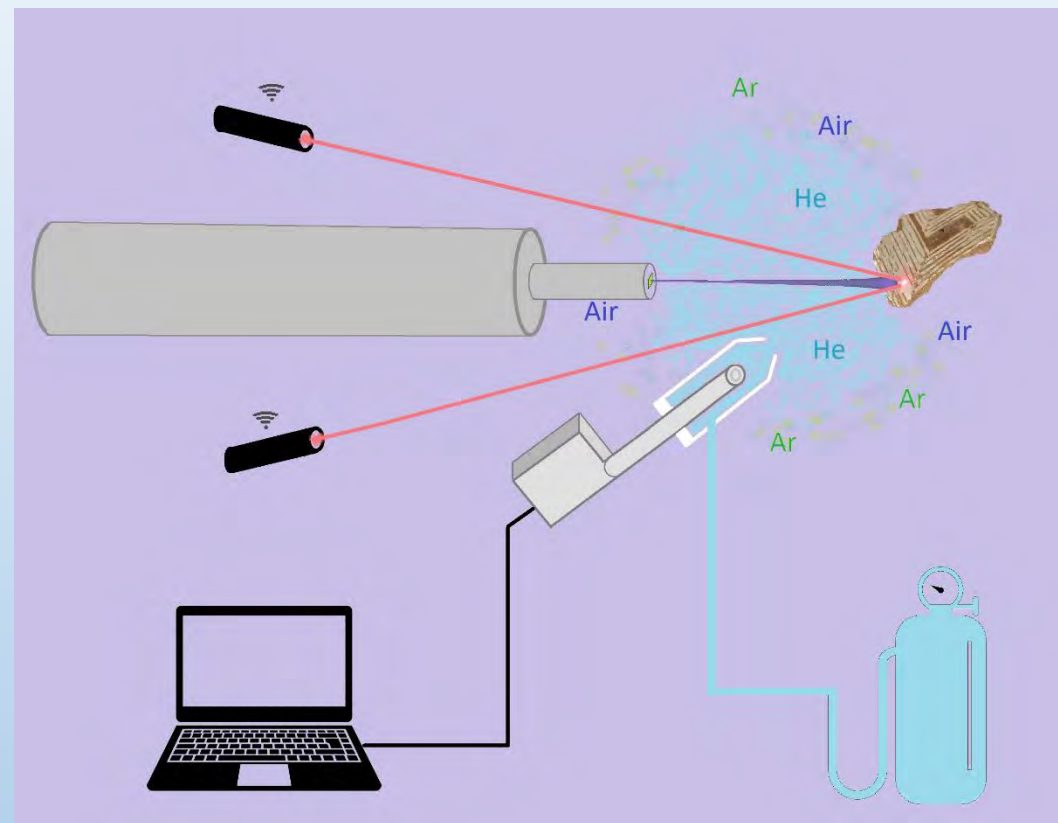
- Elemente detectate: **PIXE: Na - U**
- Limitele de detecție:  $> 0.001$  atom - % zeci de părți pe milion (ppm)
- Adâncimea de analiză (max.): 0.5 - 50  $\mu\text{m}$



# Ansamblu pentru analize elementale PIXE din cadrul acceleratorului Tandetron™ 3MV



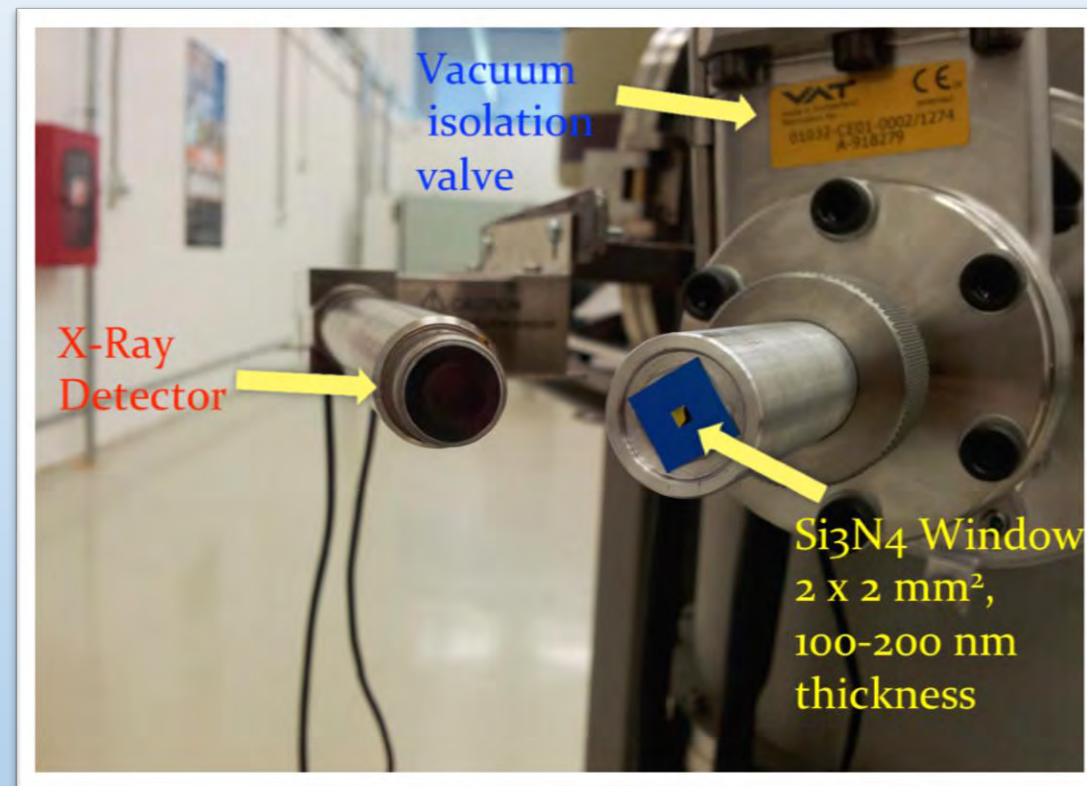
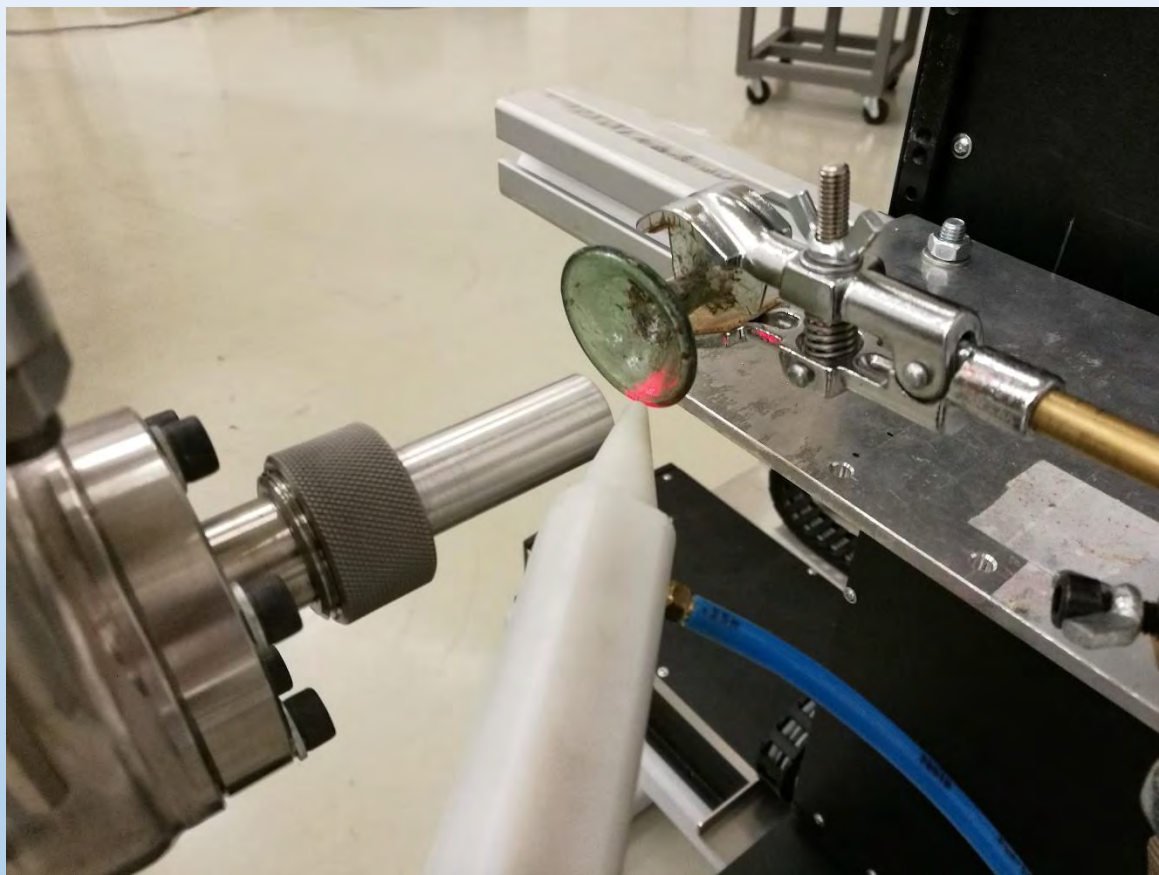
Ansamblu experimental pentru PIXE în aer, 3 MV.



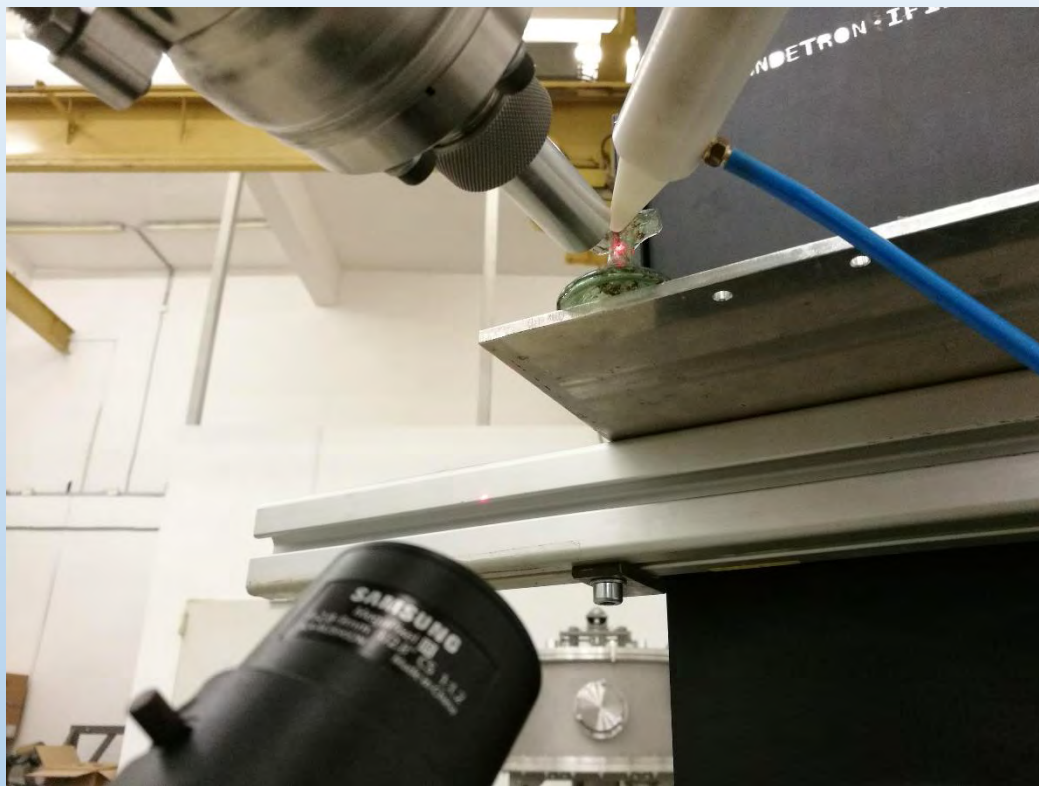
Schema simplificată a ansamblului 'in-air' PIXE, 3MV.



# Ansamblu pentru analize elementale PIXE din cadrul acceleratorului Tandetron™ 3MV

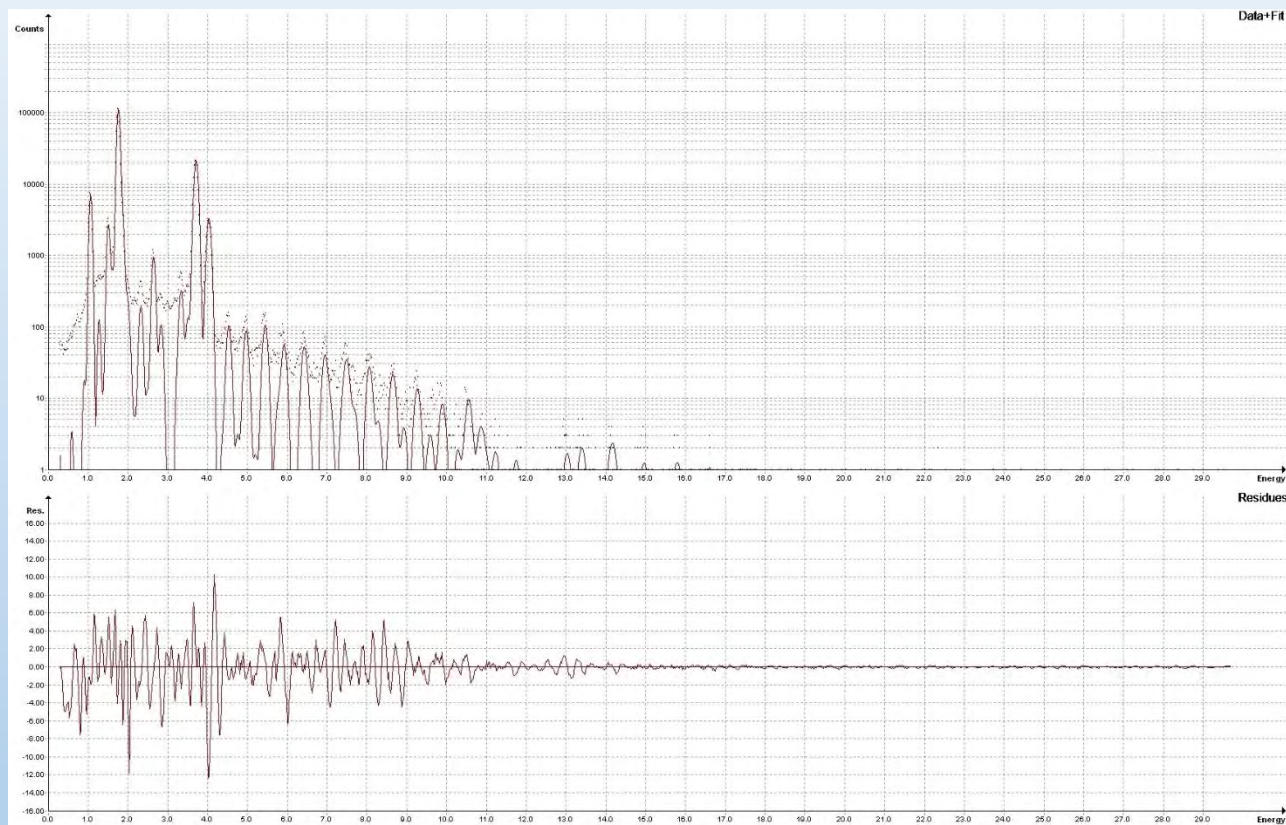


# Ansamblu pentru analize elementale PIXE din cadrul acceleratorului Tandetron™ 3MV





# Rezultate experimentale pe proba etalon NIST 611 în atmosferă de He



File:nist611 25 mai.gpx Sec: 0. uC: 4.660 nA: 0.000 PUCor:1.0046  
The last column is a decision on the presence of that element in the spectrum.  
Y: present at level of quantization, N: not present at limit of detection  
?: may be present near LOD levels (user must decide) H or uC Corr[T]: 0.178  
Det Res(eV): 130.5 Chi\*\*2: 2.836 ( 2.836)

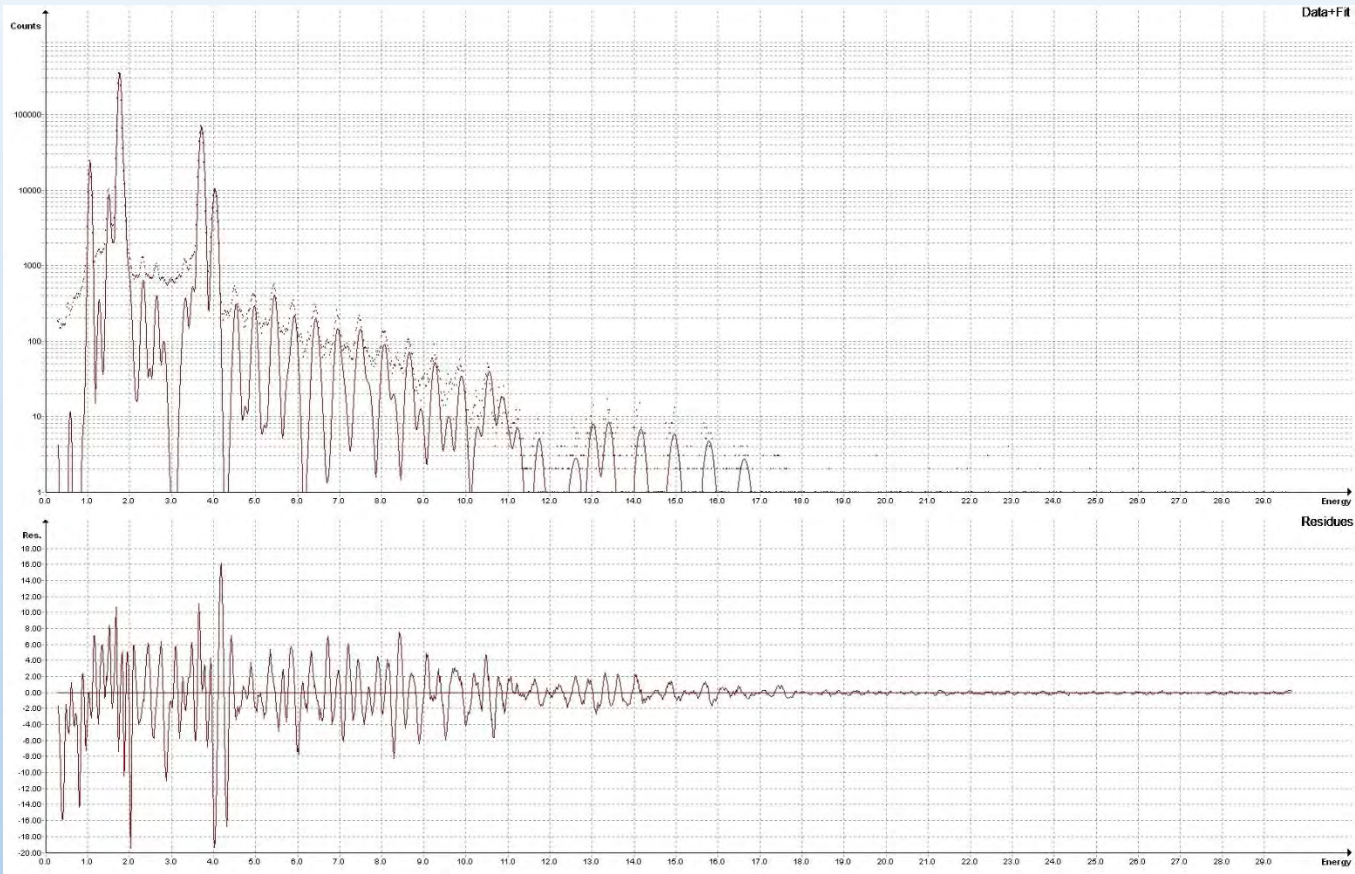
| Element | Layer | Area | H       | Yield | Det.  | Filter      | Conc.    | %Stat. | %Fit  | LOD    |   |
|---------|-------|------|---------|-------|-------|-------------|----------|--------|-------|--------|---|
| Z       | Sym   | #    | counts  | value | /uC/  | Eff. Trans. | ppm      | Error  | Error | ppm    |   |
| -       | -     | -    | -       | (-6)  | ppm   | (-3) (-5)   | -        | -      | -     | -      | - |
| 11      | NaK   | 1    | 47366.6 | 442   | 2897  | 456 100000  | 98108.3  | 0.41   | 0.43  | 219.3  | Y |
| 12      | MgK   | 1    | 874.9   | 731   | 3418  | 636 100000  | 665.5    | 10.56  | 12.70 | 124.3  | Y |
| 13      | AlK   | 1    | 20192.1 | 779   | 4392  | 762 100000  | 9357.7   | 0.83   | 0.85  | 88.4   | Y |
| 14      | SiK   | 1    | 876408  | 750   | 5447  | 782 100000  | 331669.1 | 0.09   | 0.14  | 75.8   | Y |
| 15      | P K   | 1    | 616.1   | 686   | 2843  | 834 100000  | 458.0    | 16.06  | 13.98 | 135.2  | ? |
| 16      | S K   | 1    | 1469.3  | 616   | 3343  | 881 100000  | 980.0    | 5.47   | 4.76  | 95.7   | Y |
| 17      | ClK   | 1    | 8538.9  | 608   | 3660  | 913 100000  | 5080.6   | 1.19   | 1.23  | 71.6   | Y |
| 19      | K K   | 1    | 3132.2  | 594   | 4520  | 951 100000  | 1483.4   | 2.95   | 2.78  | 73.2   | Y |
| 20      | CaK   | 1    | 216964  | 660   | 4726  | 963 100000  | 87403.9  | 0.18   | 0.21  | 34.6   | Y |
| 22      | TiK   | 1    | 1142.7  | 461   | 3489  | 977 100000  | 878.9    | 4.37   | 4.11  | 49.5   | Y |
| 23      | V K   | 1    | 841.0   | 475   | 3341  | 982 100000  | 652.8    | 5.65   | 5.31  | 61.0   | Y |
| 24      | CrK   | 1    | 516.8   | 489   | 3223  | 985 100000  | 402.1    | 10.43  | 12.75 | 95.3   | Y |
| 25      | MnK   | 1    | 642.3   | 504   | 2907  | 988 100000  | 536.1    | 6.35   | 5.99  | 41.2   | Y |
| 26      | FeK   | 1    | 642.6   | 520   | 2645  | 973 100000  | 580.8    | 5.82   | 5.64  | 46.6   | Y |
| 27      | CoKS  | 1    | 79.1    | 520   | 334.7 | 975 100000  | 563.7    | 34.80  | 6.28  | 315.7  | ? |
| 28      | NiK   | 1    | 458.6   | 520   | 1994  | 975 100000  | 548.4    | 6.91   | 6.81  | 47.7   | Y |
| 29      | CuK   | 1    | 396.0   | 520   | 1591  | 993 100000  | 583.0    | 7.20   | 7.15  | 56.9   | Y |
| 30      | ZnK   | 1    | 325.0   | 520   | 1315  | 991 100000  | 579.8    | 6.98   | 7.57  | 33.4   | Y |
| 31      | GaK   | 1    | 208.2   | 520   | 1036  | 987 100000  | 473.8    | 8.92   | 9.90  | 43.9   | Y |
| 32      | GeK   | 1    | 133.6   | 520   | 823.4 | 976 100000  | 386.7    | 12.13  | 12.77 | 47.9   | Y |
| 33      | AsKS  | 1    | 22.9    | 520   | 100.3 | 904 100000  | 586.5    | 28.64  | 9.99  | 258.1  | ? |
| 34      | SeK   | 1    | 30.2    | 520   | 508.4 | 930 100000  | 148.5    | 28.80  | 28.17 | 57.3   | ? |
| 37      | RbK   | 1    | 37.7    | 520   | 250.1 | 796 100000  | 440.5    | 23.71  | 25.10 | 134.2  | ? |
| 38      | SrK   | 1    | 46.6    | 520   | 197.1 | 739 100000  | 743.8    | 17.90  | 20.47 | 196.7  | ? |
| 39      | Y K   | 1    | 22.0    | 520   | 156.8 | 681 100000  | 478.6    | 35.46  | 41.27 | 290.5  | ? |
| 40      | ZrK   | 1    | 21.9    | 520   | 123.5 | 622 100000  | 661.5    | 33.47  | 41.67 | 404.6  | ? |
| 41      | NbK   | 1    | 23.3    | 520   | 98.07 | 565 100000  | 979.0    | 30.10  | 39.96 | 481.0  | ? |
| 82      | PbLA  | 1    | 0       | 204   | 276.5 | 957 100000  | 0        | 0      | 0     | 1423.4 | N |
| 83      | BiLA  | 1    | 91.7    | 211   | 251.7 | 947 100000  | 2208.8   | 16.24  | 15.49 | 539.2  | Y |

Spectrul probei etalon 611 obținut cu fascicol extern în atmosferă de He.

Concentrațiile elementale pentru proba etalon 611



# Rezultate experimentale pe proba etalon NIST 611 în vid.



Spectrul probei etalon NIST 611 obținut în camera IBA (în vid).

File:srm611.gpx    Sec:    0.    uC: 4.660    nA: 0.000    PUCor:1.0058  
The last column is a decision on the presence of that element in the spectrum.  
Y: present at level of quantization,    N: not present at limit of detection  
?: may be present near LOD levels (user must decide)    H or uC Corr[T]: 0.584  
Det Res(eV): 130.6    Chi\*\*2:    8.074 (    8.074)

| Layer   |      | H     | Yield   | Det. | Filter |       |        |          |       |       |       |   |
|---------|------|-------|---------|------|--------|-------|--------|----------|-------|-------|-------|---|
| Element | Area | value | /uC/    | Eff. | Trans. | Conc. | %Stat. | %Fit     | LOD   |       |       |   |
| Z       | Sym  | #     | counts  | (-6) | ppm    | (-3)  | (-5)   | ppm      | Error | Error | ppm   |   |
| 11      | NaK  | 1     | 161626  | 442  | 2895   | 456   | 100000 | 102295.8 | 0.22  | 0.23  | 130.0 | Y |
| 12      | MgK  | 1     | 2531.3  | 731  | 3387   | 636   | 100000 | 593.4    | 6.47  | 8.07  | 69.4  | Y |
| 13      | AlK  | 1     | 66162.4 | 779  | 4340   | 762   | 100000 | 9475.2   | 0.48  | 0.47  | 50.9  | Y |
| 14      | SiK  | 1     | 2792203 | 750  | 5375   | 782   | 100000 | 327070.1 | 0.05  | 0.06  | 38.7  | Y |
| 15      | P K  | 1     | 1522.7  | 686  | 2834   | 834   | 100000 | 346.9    | 13.61 | 10.14 | 84.2  | Y |
| 16      | S K  | 1     | 4867.8  | 616  | 3326   | 881   | 100000 | 996.8    | 3.03  | 2.56  | 54.8  | Y |
| 17      | ClK  | 1     | 3605.8  | 608  | 3633   | 913   | 100000 | 660.1    | 3.67  | 3.31  | 42.2  | Y |
| 19      | K K  | 1     | 3392.4  | 594  | 4522   | 951   | 100000 | 490.5    | 4.70  | 4.12  | 41.4  | Y |
| 20      | CaK  | 1     | 701618  | 660  | 4745   | 963   | 100000 | 85989.9  | 0.10  | 0.10  | 17.3  | Y |
| 22      | TiK  | 1     | 3449.0  | 461  | 3496   | 977   | 100000 | 808.6    | 2.73  | 2.51  | 31.6  | Y |
| 23      | V K  | 1     | 2913.4  | 475  | 3346   | 982   | 100000 | 689.6    | 3.24  | 2.90  | 38.4  | Y |
| 24      | CrK  | 1     | 1900.7  | 489  | 3228   | 985   | 100000 | 451.0    | 6.29  | 6.81  | 68.3  | Y |
| 25      | MnK  | 1     | 2499.9  | 504  | 2909   | 988   | 100000 | 636.8    | 3.19  | 3.00  | 27.6  | Y |
| 26      | FeK  | 1     | 2425.3  | 520  | 2647   | 973   | 100000 | 668.9    | 2.98  | 2.82  | 30.8  | Y |
| 27      | CoKS | 1     | 283.8   | 520  | 334.8  | 975   | 100000 | 617.3    | 19.01 | 3.31  | 202.0 | ? |
| 28      | NiK  | 1     | 1857.3  | 520  | 1995   | 975   | 100000 | 678.1    | 3.35  | 3.25  | 30.0  | Y |
| 29      | CuK  | 1     | 1290.7  | 520  | 1592   | 993   | 100000 | 579.9    | 4.18  | 4.12  | 35.0  | Y |
| 30      | ZnK  | 1     | 1048.2  | 520  | 1315   | 991   | 100000 | 571.0    | 4.17  | 4.46  | 35.8  | Y |
| 31      | GaK  | 1     | 796.8   | 520  | 1036   | 987   | 100000 | 553.7    | 4.79  | 5.08  | 28.7  | Y |
| 32      | GeK  | 1     | 551.0   | 520  | 823.5  | 976   | 100000 | 486.9    | 5.66  | 6.07  | 27.1  | Y |
| 33      | AsKS | 1     | 81.8    | 520  | 100.3  | 904   | 100000 | 639.9    | 14.85 | 6.28  | 107.1 | Y |
| 34      | SeK  | 1     | 121.1   | 520  | 508.5  | 930   | 100000 | 181.8    | 12.43 | 14.13 | 11.8  | Y |
| 37      | RbK  | 1     | 150.9   | 520  | 249.8  | 796   | 100000 | 539.3    | 10.81 | 12.95 | 69.6  | Y |
| 38      | SrK  | 1     | 133.3   | 520  | 196.5  | 739   | 100000 | 651.6    | 11.13 | 12.70 | 75.2  | Y |
| 39      | Y K  | 1     | 95.8    | 520  | 156.7  | 681   | 100000 | 638.1    | 14.78 | 17.48 | 139.0 | Y |
| 40      | ZrK  | 1     | 85.0    | 520  | 123.3  | 622   | 100000 | 787.5    | 15.20 | 17.73 | 187.1 | Y |
| 41      | NbK  | 1     | 56.4    | 520  | 97.95  | 565   | 100000 | 724.9    | 19.05 | 22.76 | 184.4 | ? |
| 82      | PbLA | 1     | 114.9   | 204  | 276.5  | 957   | 100000 | 785.6    | 40.02 | 35.16 | 812.5 | ? |
| 83      | BiLA | 1     | 410.2   | 211  | 251.7  | 947   | 100000 | 3016.2   | 7.05  | 7.25  | 212.4 | Y |

Concentrațiile elementale pentru proba etalon 611



# Concluzii:

## Avantajele metodei:

- este necesară o minimă pregătire a probei
- pot fi analizate probe la presiune atmosferică sub jet de He
- punctele analizate pot avea dimensiuni reduse 1- 4 mm<sup>2</sup>
- timp scurt necesari pentru achiziția datelor 0,5 - 5 minute
- metodă de analiză multi-elementală
- posibilitatea analizelor de profilare în adâncime

## Limitări :

- Analiza trebuie efectuată la locația acceleratorului
- Nu se poate analiza structura chimică
- Straturile de pigmenți organici pot fi indicate dar nu pot fi identificate
- Suprafața probei trebuie să fie lambertiană
- Probe omogene

## Considerente importante:

- Este necesară selecția atentă a punctelor de analiză
- Anumite probe necesită curățare prealabilă
- Există limitări asupra adâncimii de profilare

*Vă mulțumesc !*

