

ФИЗИКА

PIXE МЕТОДЪТ В АРХЕОЛОГИЯТА - АНАЛИЗ НА МЕТАЛНИ ИЗДЕЛИЯ (ЗА ПЪРВИ ПЪТ В БЪЛГАРИЯ, ПРОЕКТ CHARISMA)

Илия Пенев, ИЯИЯЕ-БАН

Стела Дончева, Галина Цекова, РИМ, Шумен

за контакт: ilpen@inrne.bas.bg

Методът PIXE (particle induced x-ray emission)

През втората половина на ХХ век в научните изследвания се наблюдава особено явление, най-общо наричано интердисциплинарност. Под това понятие обикновено се подразбира навлизането на средства, апаратури и методи за изследване и анализ от един отрасъл в друг с цел решаване на гранични проблеми, или получаване на нови данни. В много случаи методологията и експерименталните средства на една наука се оказват подходящи и за някоя друга. Естествено това преплитане е съпроводено и с необходимостта от знания и в двете направления, което изисква и адекватно образование. Най-продуктивна в този процес е физиката, чиито методи и средства и

експериментален арсенал навлязоха и продължават да навлизат в изследванията в сферата на биологията, медицината, историята, археологията, и други хуманитарни науки, като се въвежда количествен анализ и така се заменят напълно или отчасти предишните описателни методи. Те предоставят нови данни за изследваните обекти, напълно свободни от субективността на изследователя.

В началото на ХХ век са открити т.н. рентгенови лъчи, а малко по-късно английският физик Мозли установява, че всеки химически елемент, при определени условия, излъчва рентгенови лъчи със строго фиксирана енергия, специфична само за него. Тези лъчи са разположени в няколко серии, в зависимост от заряда на елемента (или по-редния му номер в таблицата на Менделеев).

Ако разполагаме с устройство /детектор/, а днес това са полупродниковите детектори, съчетани с подходящи спектрометри, което да измери енергията и интензитета на това лъчение, то еднозначно може да се определи присъствието и количеството на определен химически елемент. Така възниква идеята за рентгено-флуоресцентния анализ на веществото т.е. – анализ, при който се определя елементния състав на даден образец. Този вид анализ скоро широко се разпространява, и от 70-те г. на миналия век се използва за най-разнообразни цели, в това число - и за елементен анализ на археологични образци. Методът е недеструктивен, т.е. образецът не се разрушава и по него не остават следи от проведения анализа.

През 80-те и 90-те г. много от ускорителите на елементарни частици, които са изчерпали своите възможности за фундаментални изследвания, се реконструират и започват да се използват и за приложни цели. Така възниква и PIXE методът, particle induced x-ray emission, или индуцирано с частици рентгеново излъчване. Това е едно ново развитие на класическия рентгенов анализ. При този метод, ускорени заредени частици, най-често - протони, бомбардират определено място от образца и инициират излъчването на специфични за всеки елемент рентгенови лъчи. По тяхната енергия се определя елемента, а по интензитета им - съответното количество. Голямото предимство на този метод се състои в това, че снопът от ускорени протони може да се управлява и да се насочва към строго определено място на обекта, като самият сноп може да се свие до диаметър ~1 микрон. Освен това, снопът може да сканира точно определена област, с предварително избрани размери. Тази област може да бъде от няколко квадратни микрона до сантиметри. Друго уникално предимство е регулируемата енергия на частиците. По този начин може да се предизвика рентгеново лъчение само от определен слой от обекта, и така да се анализира състава на нанесени по повърхността елементи, например

сребърни, златни или други покрития, при това - с минимална дебелина. Единствено този метод предлага възможност за анализ на мастилото на отделни букви в старинни ръкописи, анализ на отделни влакна от тъкани, кожи, анализ на нищожни присъствия на метали по повърхността на органика, бои, лакове, инкрустации и др. Разбира се може да се определя състава и на основната маса на изделието. Възможно е също анализ на изключително малки обекти, например състава на припоя, използван в техниката на гранулиране, за всяко едно зрънце. По този начин може а се установи автентичността на цялото изделие, както и да се установи дали то е преправяно, с какви средства, кога и т.н.

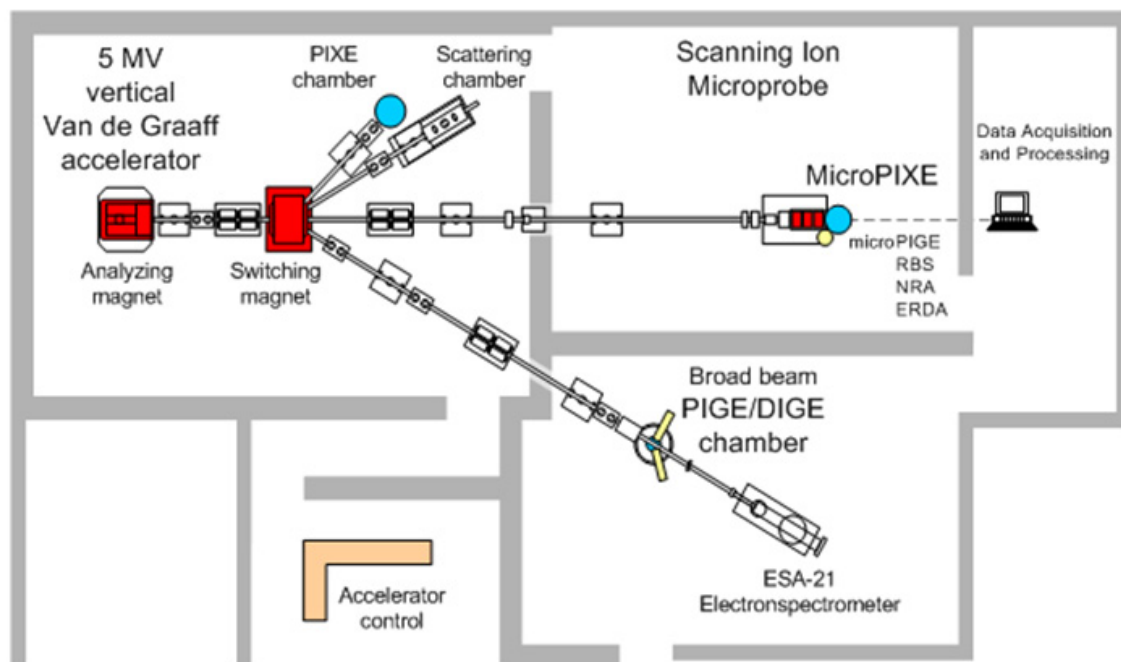
Проект РАМОМВ (Production of art metal objects in Medieval Bulgaria) - съвместни изследвания на ИЯИЯЕ, БАН и Регионалния Исторически Музей – гр. Шумен

В рамките на големия европейски проект CHARISMA по съхранение, консервация и изследване на европейското културно наследство бе реализиран проектът РАМОМВ, един съвместен проект на ИЯИЯЕ, БАН и РИМ, Шумен.

Проектът целеше прилагането на PIXE методът, (Particle Induced X-ray Emission). С помощта на този метод се възбужда характеристикното рентгеново лъчение от определено място на образца, което е с минимални размери, ~ 100x100 мкм, като се използват ускорени до енергия ~ 2.5 Мев протони. Протонният сноп е фокусиран изключително прецизно, на определеното място, а диаметърът му не превишава няколко микрона. Рентгеновото лъчение се анализира с помощта на детектори с високо енергетично разрешение. Измерванията се проведоха на протонния ускорител на Института за Ядрени Изследвания, Атомки, на УАН, Дебрецен, съвместно с групата, ръководена от доц.

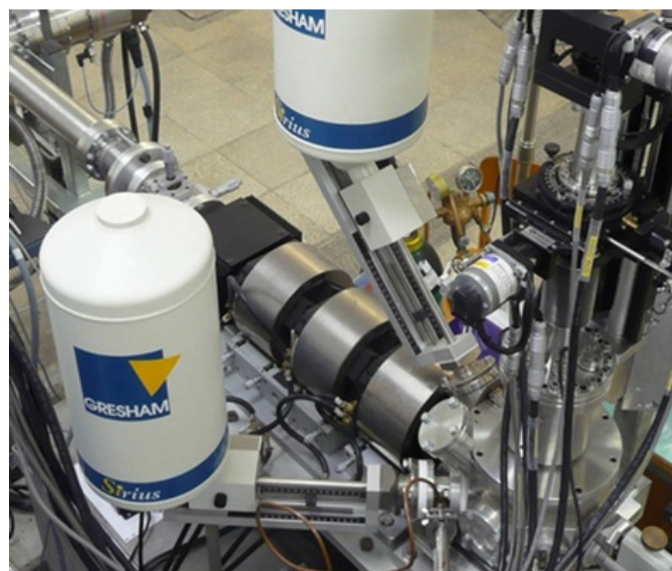
д-р Имре Узони. Установката, показана на фиг.1, е част от ускорителният комплекс за използване на йонни снопове за приложения, предимно - за анализ и изследвания в други, неядрени, направления на науката.

фиг. 1 Лабораторията с различни йонни снопове за приложни и фундаментални изследвания, а горе вляво е установката за PIXE анализ. (С любезното съдействие на Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences)



Енергията на ускорените протони в този комплекс може да варира в рамките на 2-5 Мев, като за нашия случай бе използвана енергия на протоните ~ 2.5 Мев, съобразена с естеството на пробите. В случая е важно пробите да са устойчиви при условията на дълбок вакуум, т.е. при отстраняване на въздуха те да не се деформират или разпаднат. За метални образци за анализ това условие се изпълнява без да е необходима предвратителна обработка. Друго важно изискване е, повърността, върху която ще се фокусира протонния сноп, да е зачистена до истинския материал на образеца, т.е. - окисни слоеве, патина, замърсявания и др. трябва да бъдат отстранени. За този метод в случая е необходима така подготвена повърност $\sim 1\text{mm}^2$. Камерата, която е показана на фиг. 2, заедно с пулупроводниковите детекторни системи, позволява да се измерват спектрите на излъченото рентгеново лъчение.

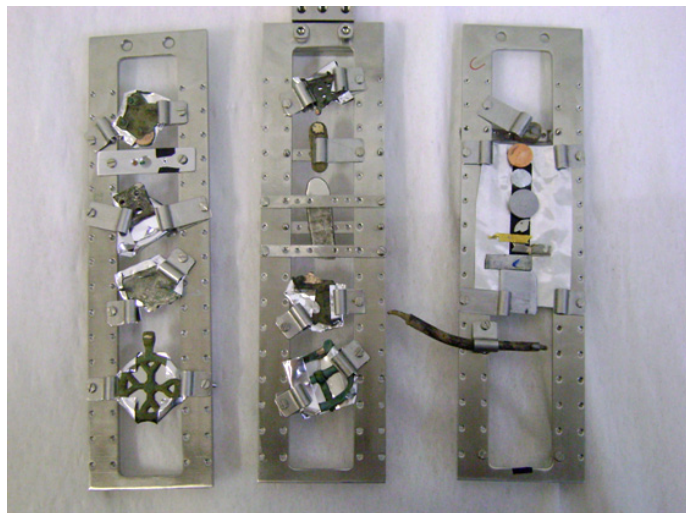
Параметрите на експерименталната установка са уникални и гарантират висока



фиг. 2 Камерата за облъчване с протонен сноп на образците. Отляво надясно е насочен снопът, виждат се дюарите за течен азот на двата детектора, в долният десен ъгъл е камерата с държача на образците и и микроскоп, чието изображение се показва на монитора на оператора, заедно с мястото на анализ. Преди стартирането на самото измерване петното за анализ се проверява за хомогенност. (С любезното съдействие на Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences)

точност и надежност на получаваните резултати. За ядрено-фичния аспект на проекта на ИЯИЯЕ отговаря доц. д-р Илия Пенев, инициатор на проекта, а също - и колегите физици от Атомки, Дебрецен. Археологическият аспект, а също - избора и подготовката на образците, е отговорност на д-р Ст. Дончева и реставратор Г. Цекова от РИМ, Шумен. Интердисциплинарността на проекта, при съвместното участие на физици и археолози, открива нови възможности за по-задълбочен анализ на образци от нашата история.

Анализирани бяха 35 метални образца от 30-те до 60-те г. на X век. Образците са от три разкрити производствени центъра на украшения и битови предмети в Новосел, Златар и Надарево в района на гр. Шумен. Образците са от бронз, бронз със сребърно и златно покритие и няколко от сребро с различна проба. Колегите от РИМ положиха големи усилия в подготовката на пробите и съответната документация за анализа им в чужбина.



фиг. 3 Общ вид на образците, разположени върху специален фиксатор, като в този си вид те се разполагат във вакуумната камера и се облъчват с протони.

Използваният метод дава възможност да се определи както състава на основните елементи, изграждащи пробата, така - и състава на т.н. трекови, или следови елементи, характерни за всяко местонахождение. Освен това, PIXE методът е уникален в определението на състава на повърхностни метални слоеве, или отделно от основната маса на образца бе анализиран и съставът на златното или сребърното покритие, без да се нарушава целостта на предмета. Тези изследвания са уникални в рамките на България.

В момента е в ход обработката на експерименталната информация, която е значителна по своя обем, а след това данните ще бъдат анализирани от гледна точка на съвременната археология и сравнени с други аналогични данни от европейски производствени центрове. Тук спестявам подробности за програмното обеспечение, методите за еталониране и обработката на самите данни, и др., които са в областта на професионалните умения на експериментаторите.

Предварително вече може да се каже, че резултатите от този проект съдържат ценна информация за технологията на производството на бронзови, сребърни и позлатени изделия, за методите на създаване на тънки покрития с благородни метали, както и за произхода на суровините, използвани в производствените центрове в Златар, Новосел и Надарево.

Експертите в РИМ ценят постигнатите резултати и разчитат на методологичното и експериментално съдействие от страна на ИЯИЯЕ в бъдеще, което е отразено в благодарственото им писмо до ИЯИЯЕ.



Like us on
Facebook



Заклучение

Пълните възможности на археометрията, въпреки, че тя не е нова наука, все още не се използват достатъчно широко при археологическите изследвания в България. Първите резултати на археометрията се отнасят към анализана монети. Още през 1795г. известният немски химик Клапрот публикува анализите на няколко древногръцки и римски монети. Днес в арсенала на археометрията, освен РІХЕ анализа, има десетки други методи за датиране, анализ на състав и технологии, генетичен анализ на останки от растения и животни, вътрешно-структурен анализ и др.

Колективът, предложил и реализирал проекта РАМОМВ (Production of art metal objects in Medieval Bulgaria), е в процес на подготовка на други проекти, свързани отново с използването на ядрени методи за анализ на метални и глинени изделия от българската история. Най-съществената част от подобни проекти е съвместното участие на учени от различни направления, или интердисциплинарността, в конкретния случай – между приложната ядрена физика и археологията. Но това не е единствената възможност. Участието на химици, биолози, геолози и други учени, открива нови възможности за получаване на нови, лишени от субективизма на описателните методи, количествени данни за най-разнообразни археологически обекти и находки.