



2015. 11. 11.(수) 조건부터 보도하여 주시기 바랍니다.

연구책임자 물리천문학부 최선호 교수(02-880-9193) / 공동저자
연구진 김윙희 연구원(대학원생) (02-878-9193) / 공동 제1저자

중성자 마법수 126인 미지의 원자핵의 생성방법의 확인

- 금 및 백금의 원소의 기원이 되는 천체현상을 찾아서 -

□ 본 연구성과의 핵심

- 크세논과 백금이 충돌할 때 둘 사이에 여러 개의 핵자가 이동하는 반응을 이용하여 중성자 갯수가 마법수 126인 미지의 원자핵을 생성하는 단면적의 측정에 세계 최초로 성공하였다.
- 중성자 개수가 마법수 126인 미지의 중성자과잉 원자핵들을 생성하는 방법으로 위의 반응이 최적이라는 것을 실험으로 증명하였다.
- 생성 방법의 확립에 따라 126개의 중성자를 가진 원자핵이 중요한 역할을 하는, 천체에서의 금이나 백금의 원소합성과정에 관한 연구를 진전시킬 수 있다.
- 물리학분야에서 가장 권위있는 학술지인 Physical Review Letters에 2015년 10월 23일에 출판되었음. (PRL 115 172503)
- 한국, 일본, 프랑스, 이탈리아의 공동연구로 진행되었음.

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명
4. 연구진 이력사항

연구결과

[개요]

서울대학교는 기초과학연구원 중이온가속기사업단(RISP/IBS), 일본 고에너지 가속기 연구기구(KEK) 소립자 원자핵 연구소 (IPNS)의 단수명핵그룹, 오사카대학, 프랑스 GANIL국립 연구소, Orsay 핵물리 연구소 (IPN), 이탈리아의 Torino 대학,Legnaro 국립 연구소, Padova 대학과 공동으로 프랑스 GANIL국립 연구소의 VAMOS++ 스펙트로메타를 이용하여 크세논과 백금의 원자핵을 충돌시켜 여러개의 핵자가 서로 이동하는 반응을 일으켜 중성자 마법수 126으로 구성된 중성자과잉핵을 만들고 그 단면적을 도출하는 데 세계 최초로 성공하였다.

이번에 측정된 단면적은 천체에서의 금이나 백금의 원소합성과정에 깊이 관계하는 중성자 마법수 126으로 구성된 미지의 중성자과잉 원자핵을 생성하는것 뿐만 아니라 여러 개의 핵자가 서로 이동하는 반응이 최적의 생성 방법이라는 것을 뒷받침하고 있다. 이 방법에 따라 생성된 미지의 원자핵의 성질을 연구함으로써 금이나 백금이 만들어지고 있는 천체의 정체를 밝히는 연구가 촉진될 것이다.

[배경]

자연계에는 산소나 철, 우라늄과 같은 여러 가지의 원소가 존재하고 있다. 태양계에서 관측된 여러 원소의 상대적 존재비율을 살펴보면, 원소 가운데에는 비교적 많이 존재하는 것과 미량으로만 존재하는 것이 있다. 금이나 백금은 비교적 많이 존재하는 원소들인데 이들 원소는 왜 다른 원소들 보다 상대적으로 더 많이 존재하는 것일까?

원자는 양전기를 띤 원자핵의 주위를 음전기를 띤 전자가 둘러싸고 있는 구조를 하고 있다. 원자핵은 또다시 양전기를 띤 양성자와 전기를 띠지 않는 중성자로 구성되어 있다. 양성자의 수(원자번호)가 서로 다른 원자핵은 그 주변을 둘러싸고 있는 전자의 수도 달라서 화학적인 성질이 서로 다른 원소가 된다. 그런데 같은 원소라도 원자핵의 중성자수가 다른 것들이 있어서 이들을 동위원소라고 부른다. 양성자의 개수가 정해지면 해당 원자핵이 안정하게 존재할 수 있는 중성자의 수가 결정된다. 예를 들어 양성자의 수가 8인 산소의 경우 중성자의 수가 8, 9, 10인 동위원소는 안정하게 존재한다. 하지만 그 이외의 중성자 수에 대해서는 안정하게 존재할 수 없는 불안정한 원자핵이 되어 안정한 원자핵이 될 때까지 방사성붕괴를 계속하게 된다. 또 양성자나 중성자의 수가 8, 20, 28, 50, 82, 126이 되는 원자핵은 다른 원자핵과 비교하여 특별히 더 안정하게 된다. 이들의 수를 원자핵에서 마법수라고 부르고 있다.

자연계에 금이나 백금이 비교적 많이 존재하는 이유는 다음과 같이 생각하고 있다. 우주의 어딘가에 중성자가 매우 많이 존재하는 장소가 있다면 그곳에서는 안정된 원자핵이 주변의 중성자를 많이 흡수하여 안정된 원자핵과 비교하여 중성자가 많은 원자핵 (중성자 과잉핵)이 만들어 진다. 이렇게 만들어진 불안정한 중성자 과잉핵은 중성자가 양성자로 변하는 베

타붕괴를 하며 다른 원소가 된다. 이와 같이 중성자의 흡수와 베타붕괴를 반복하며 우라늄까지의 원소가 만들어진다고 생각하고 있다. 이러한 원소 합성 과정을 빠른(rapid) 중성자 포획과정 (r과정) 이라고 부른다. r과정에서는 중간과정에서 여러 불안정한 중성자 과잉핵이 만들어지는데 원자핵을 구성하는 중성자의 수가 마법수인 126이 되는 원자핵에서는 비교적 안정화 되기 때문에 그 이상의 중성자를 흡수할 수 없어서 베타붕괴가 일어나기를 기다리는 상태가 된다고 생각하고 있다. 베타붕괴가 일어나면 원자번호(양성자의 개수)는 하나 증가하고 중성자의 개수는 하나 감소한 원자핵이 다시 중성자를 한 개 흡수하여 중성자수가 126이 되어 또다시 베타붕괴가 일어나는 것을 기다리게 된다. 이와 같은 과정이 반복되면서 중성자수 126으로 구성된 원자핵이 많이 모이게 된다. 이 후 어떠한 이유로 주변의 중성자수가 감소하면 원자핵이 더 이상 중성자를 흡수할 수 없게 되어 r과정은 끝나게 된다. 중성자수가 126인 많은 중성자 과잉 원자핵들은 차례로 베타붕괴를 일으키며 최종적으로 안정된 금이나 백금이 만들어진다고 생각하고 있다 (그림 1).

r과정이 일어나는 장소로는 상당히 무거운 별이 일생을 마칠때 나타나는 초신성폭발이나 두 개의 중성자별이 충돌하여 합쳐지는 등의 천체현상이 현재 후보로 거론되고 있다. 이를 확정하려면 r과정이 일어나는 환경의 온도 및 중성자의 밀도 등의 정보가 필요하다. 컴퓨터를 이용하여 r과정의 모의실험(시뮬레이션)을 이용하여 온도 및 중성자의 밀도를 추정할 수 있으나 이러한 모의실험을 위하여 중성자 마법수 126으로 구성된 중성자 과잉핵의 질량 및 베타붕괴의 수명에 관한 정보가 필요하다. 이들 불안정핵은 자연적으로는 존재하지 않고 또 인공적으로 만들어 내는 것도 어려워서 지금까지 제대로 측정할 수 없었으나 자연계에 존재하는 금이나 백금의 기원이 되는 천체현상을 확정하는 데 중요한 원자핵들이다.

최근 중성자 마법수 126으로 구성된 중성자 과잉핵을 만들어 내는 방법으로 중성자수가 많은 납의 원자핵에 크세논 원자핵을 가속시켜 충돌시킨 다음 납의 원자핵으로 부터 여러 개의 양성자가 크세논 원자핵으로 이동하는 핵반응이 적절하다는 것이 이론적으로 주장되었다. 백금의 표적을 이용하여도 여러 개의 중성자를 크세논 원자핵으로부터 백금의 원자핵으로 이동시켜 중성자마법수 126으로 구성된 미지의 중성자 과잉핵을 만들 수 있다는 것이 예측되었다. 2개의 원자핵 사이에 여러개의 양성자 또는 중성자(통칭 핵자라고 부른다)가 이동하는 반응을 다핵자이동반응이라고 부른다. 자연계에 존재하지 않는 불안정한 원자핵을 만들어 내는 데 매우 효율적인 방법으로 자리잡아 왔지만 중성자 마법수 126으로 구성된 중성자 과잉핵을 만들어 내는 방법으로서의 유효성은 실험의 어려움으로 인하여 지금까지 실증되지는 않았다. 프랑스 GANIL국립연구소에서 개발된 VAMOS++ 스펙트로메타는 원자핵들의 반응에서 만들어진 무거운 원자핵들을 측정하는데 있어 최적으로 이 스펙트로메타를 이용하여 다핵자이동반응으로 만들어진 무거운 원자핵들을 직접 측정하는 것이 처음으로 가능하게 되었다.

[연구내용과 성과]

핵자당 8백만 전자볼트로 가속시킨 크세논 원자핵을 백금의 원자핵에 충돌시켜 두 개의 원자핵 사이에 다핵자이동반응을 일으켰다. 가속된 크세논 원자핵을 입사핵, 표적으로서 정지되어 있던 백금의 원자핵을 표적핵이라고 부른다. 또 다핵자이동반응에 의하여 입사핵에

여러개의 핵자가 이동하여 만들어진 원자핵을 입사산란핵, 표적핵에 여러개의 핵자가 이동하여 만들어진 원자핵을 표적산란핵이라고 부른다(그림 2). 중성자 마법수126으로 구성된 중성자 과잉핵은 표적산란핵으로서 입사산란핵과 동시에 만들어지게 된다. 본 연구에서는 고분해능의 VAMOS++ 스펙트로메타를 사용하여 입사산란핵을 각각의 동위원소로 식별하고 그 갯수를 측정하여 이들과 동시에 만들어진 표적산란핵의 생성량을 도출하는데 성공하였다.

다핵자이동반응으로 만들어진 입사산란핵과 표적산란핵은 그 상태에 따라 중성자를 방출한다는 사실은 이미 알려져 있다. 이는 원자핵들의 반응으로 부터 만들어진 원자핵은 에너지가 높은 들뜬 상태에 있어 중성자를 방출하면서 에너지가 낮은 바닥 상태로 돌아가기 때문이다. VAMOS++ 에서 측정된 입사산란핵은 중성자를 방출한 이후의 입사산란핵이므로 측정된 정보로 부터 방출된 입자의 갯수를 계산하여 표적산란핵의 동위원소 분포를 도출하였다. 이렇게 얻어진 표적산란핵의 생성량분포로 부터 중성자 마법수 126으로 구성된 표적산란핵의 생성단면적이 종래의 이론예측과 비교하여 2배에서 10배정도 더 크다는 것을 관찰하였다 (그림 3).

[연구의 의의 및 이후의 기대]

이 연구성과는 크세논과 백금의 원자핵을 이용한 다핵자이동반응의 단면적을 측정함으로써 중성자 마법수 126으로 구성된 미지의 중성자 과잉핵을 만드는 방법으로써 다핵자이동반응이 최적이라는 것을 최초로 실증하였다. 현재 KEK의 단수명핵 그룹에서는 다핵자이동반응을 이용하여 만들어진 표적산란핵으로 부터 특정한 동위원소만을 골라 내고 그 동위원소들의 베타붕괴의 수명과 정확한 질량을 측정하기 위하여 동위원소분리장치(KISS: KEK Isotope Separation System)의 개발을 진행하고 있다. 또한 한국의 중이온가속기사업단에서 건설중인 가속기가 완공되면 비슷한 연구를 더 확대할 수 있으며 또한 한국의 중이온가속기는 미지의 원자핵을 만들어 내는 여러 가지 방법을 결합하여 본 연구의 방법으로도 만들기 어려운 새로운 미지의 원자핵들을 만들 수 있을 것으로 기대하고 있다. 미지의 원자핵을 만들어 내는 여러 가지 새로운 방법이 개발되어 중성자마법수 126으로 구성된 중성자 과잉핵의 수명과 질량을 측정함으로써 금이나 백금의 기원이 되는 천체현상을 찾아내는 연구에 새로운 진전이 있을 것으로 기대한다.

용 어 설 명

※ 1. 스펙트로메타

원자핵들의 반응에서 만들어지고 흩어지는 원자핵의 운동에너지, 산란각도에 관한 정보를 측정하고 원자핵의 종류를 구분하는 등 반응의 여러 가지 성질을 조사하는데 사용되는 장치.

※ 2. 다핵자이동반응

가속한 원자핵(입사핵)을 정지한 원자핵(표적핵)에 충돌시켜 두개의 원자핵 사이에 여러개의 양성자 또는 중성자를 옮기는 반응. 반응이후 입사핵으로 부터 생성된 원자핵을 입사산란핵, 표적핵으로 부터 생성된 원자핵을 표적산란핵이라고 부른다. (그림2)

※ 3. 마법수

원자핵을 구성하는 양성자나 중성자의 수가 8,20, 28, 50, 82, 126과 일치하는 경우 원자핵은 양성자나 중성자의 수가 이와는 다른 원자핵보다 비교적 안정한 성질을 가지게 되는데 이들 수를 원자핵의 “마법수”라고 부른다.

※ 4. 중성자과잉핵

어느 한 양성자의 개수에 대하여 특정한 범위의 중성자의 개수를 가진 원자핵들만이 안정한 동위원소를 이루어 자연계에 존재할수 있다. 이 보다 더 많은 중성자를 가진 원자핵은 중성자과잉핵이라고 부른다. 중성자과잉핵은 불안정하여 안정한 원자핵이 될 때까지 핵붕괴를 계속한다

※ 5. 단면적

원자핵의 반응이 일어나는 정도는 원자핵이 어느 정도의 크기로 보이는가라는 단면적으로 표시한다. 단면적이 클수록 핵반응이 더 잘 일어난다는 것을 나타낸다.

※ 6. 전자볼트

진공중의 전자가 1 볼트(1V)의 전위차로 가속되었을때 얻는 에너지

그림 설명

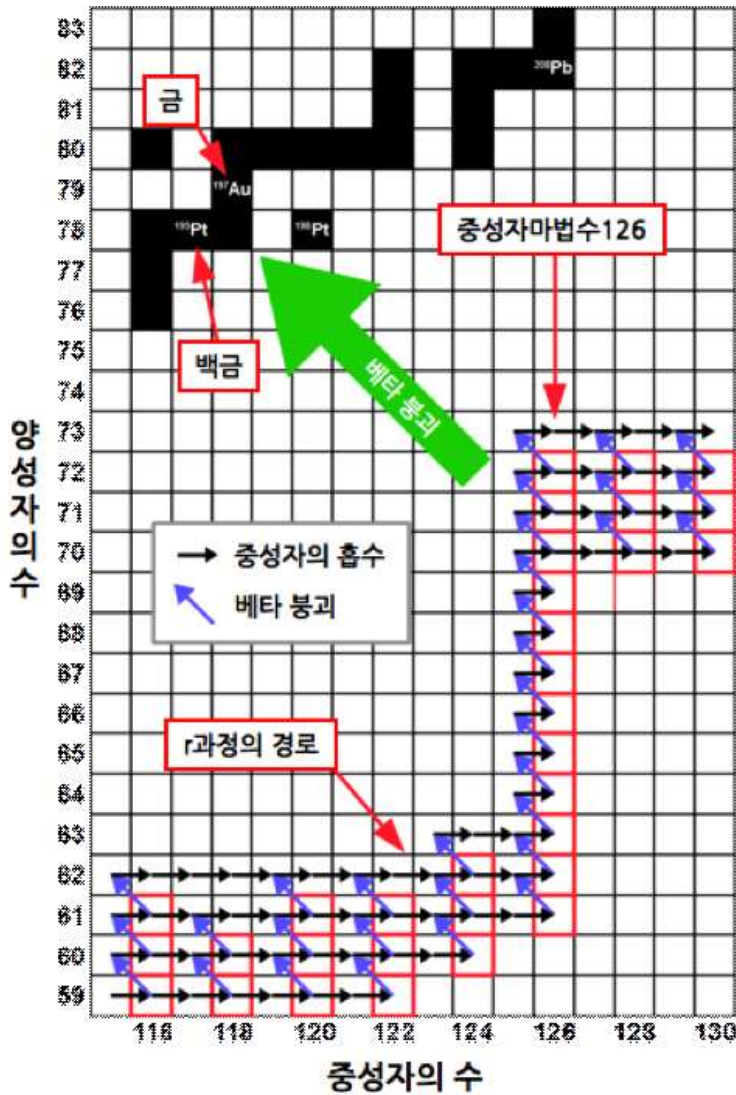


그림 1: r과정의 경로와 금, 백금의 생성

가로축은 중성자의 개수, 세로축은 양성자의 개수를 나타내고 각각의 사각형은 대응하는 개수의 중성자와 양성자로 구성된 원자핵을 나타낸다. 검은 사각형은 안정한 원자핵을 나타낸다. r 과정에서 일어나는 중성자 흡수경로를 검은 화살표로, 베타붕괴는 청색화살표로 표시하였다. 녹색의 화살표는 r과정이 끝난 후에 중성자 마법수 126영역에 남아있던 불안정 원자핵들이 베타붕괴를 반복하여 최종적으로 안정된 원자핵인 금이나 백금을 만드는 과정을 나타내고 있다.

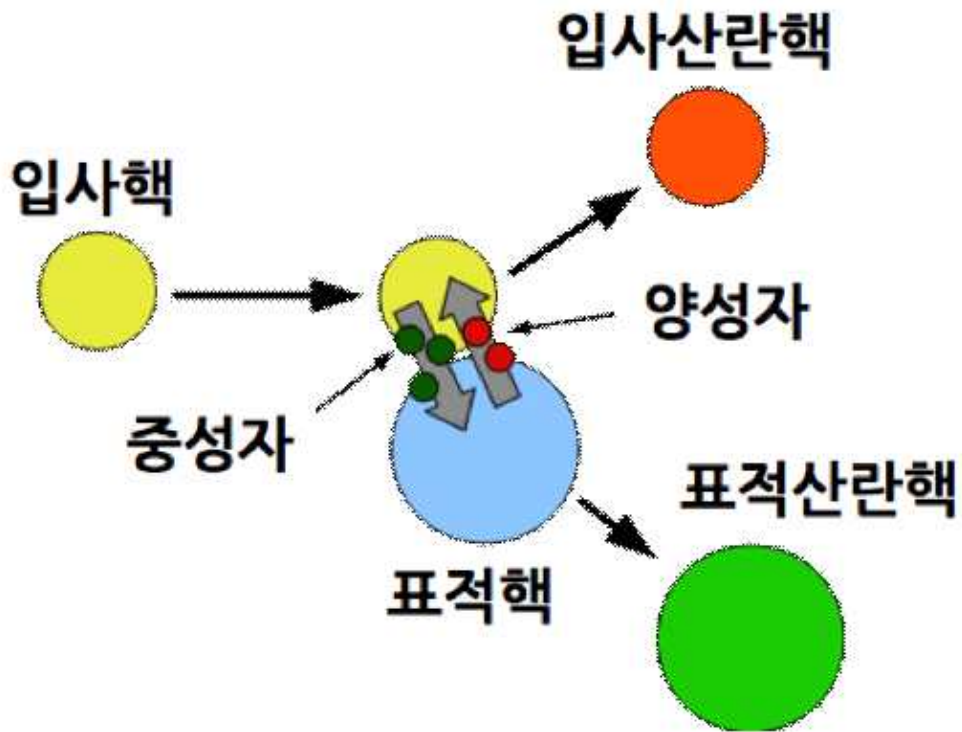


그림 2: 다핵자이동반응

가속된 원자핵(입사핵)을 정지한 원자핵(표적핵)에 충돌시켜 2개의 원자핵 사이에 여러 개의 양성자 또는 중성자가 이동하는 반응. 반응에 의하여 입사핵으로부터 생성된 원자핵을 입사산란핵, 표적핵으로부터 생성된 원자핵을 표적산란핵이라고 부른다.

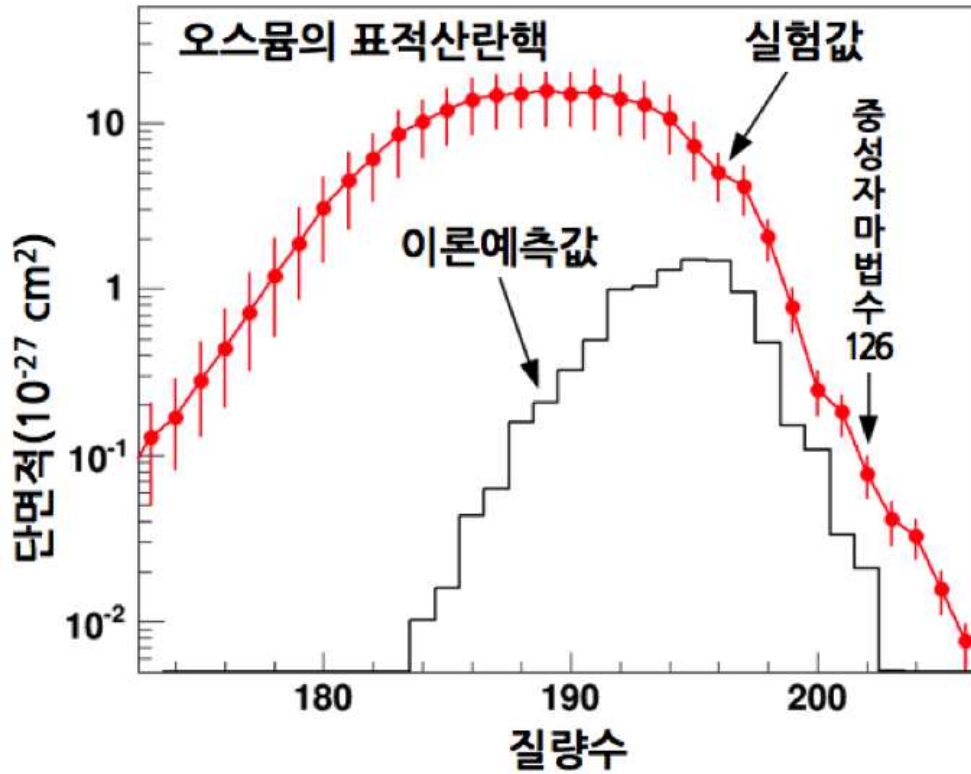


그림 3: 측정으로 부터 얻어진 표적산란핵의 동위원소분포 (오스뮴의 경우)
 가로축은 질량수(양성자와 중성자의 개수의 합), 세로축은 단면적(로그 눈금), 적색원은 실험값을, 흑색선은 이론예측값을 나타낸다. 중성자의 개수가 126이 되는 오스뮴의 미지 동위원소를 만들 때 실험값은 이론예측값보다 4배정도 더 큰 반응단면적을 보여주고 있다.

연구자 이력사항 <최선희 교수>

1. 인적사항

- 소속 : 서울대학교 물리천문학부 교수
- 전화 : 02-880-9193
- E-mail : choi@phya.snu.ac.kr



2. 학력

- 1985 - 1989 서울대학교 학사
- 1989 - 1993 파리제11대학교 박사

3. 경력사항

- 1993 - 1998 미국 인디애나대학교 연구원
- 1998 - 2004 미국 템플대학 연구원
- 2004 - 현재 서울대학교 자연과학대학 물리천문학부

4. 기타 정보

- 서울대학교 교육상(2013)