

Monoenerjetik Foton Spektrumu ile $^{31}\text{P}(\gamma, p)^{30}\text{Si}$ Reaksiyonu Tesir Kesitleri*

Abdulkadir AKSOY **)

ÖZET

$^{31}\text{P}(\gamma, p)^{30}\text{Si}$ reaksiyonu Yüksek Dipol Rezonans düzeyinin bozunum mekanizması, yapma - monoenerjetik foton spektrumları kullanılarak incelenmiş ve ^{30}Si kalıntı çekirdeği taban enerji düzeyi, 2.2, 3.6, 5.2 ve 6.9 MeV uyarılmış proton - boşluk düzeyleri tesir kesitleri bulunmuştur. ^{30}Si çekirdeği enerji düzeyleri ve ölçülmüş spektroskopik faktörler karşılaştırılarak, reaksiyon mekanizmasının direkt - yarı direkt ve istatistik payları belirlenmiştir.

SUMMARY

Via the construction of the pseudo-monoenergetic photon beam, the decay mechanism of the Giant Dipole Resonance in the $^{31}\text{P}(\gamma, p)^{30}\text{Si}$ photonuclear reaction are investigated, and the excited proton-hole states which correspond to the ground state, 2.2, 3.6, 5.2 and 6.9 MeV states of the residual nucleus ^{30}Si , are obtained. By comparing the states of the ^{30}Si with the measured spectroscopic factors, the contributions of the direct-semidirect and the statistical reaction mechanisms, are determined.

GİRİŞ

Son yirmi yıl süresince ^{31}P çekirdeği fotonükleer araştırmalarının çoğu (γ, n) nötron emisyon reaksiyonları yöntemiyle yapılmıştır. Pek çok araştırmacı, çok az $^{31}\text{P}(\gamma, p)$ proton emisyon reaksiyonu deneysel sonuçları bulunduğunu bildirmektedir (2, 5, 8, 10). Bu veri eksikliği sü-

* Bu çalışma Belçika, Gent Devlet Üniversitesi Nükleer Fizik Laboratuvarında yapılmıştır.

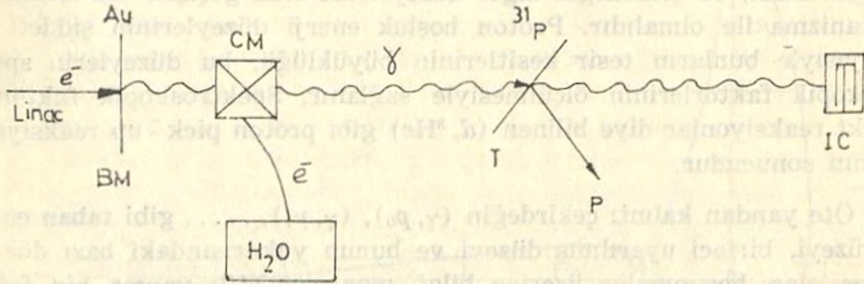
** Sakarya D.M.M. Akademisi, Dr.

rekli ve monoenerjetik Bremsstrahlung fotonlarının elde edilmesi gibi deneysel güçlüklerden ileri gelmektedir (6). Ayrıca Tsubota'ya (9) göre ^{31}P üzerine teorik hesaplamalar da yetersizdir.

Bu nedenlerle, Yüksek Dipol Rezonans (YDR) bölgesinde ^{31}P çekirdek yapısının aydınlanması ve fotoproton reaksiyonu üzerine daha detaylı bilgi elde etmek için, $^{31}\text{P}(\gamma, p)^{30}\text{Si}$ reaksiyonunun deneysel olarak incelenmesinde yarar görülmüştür.

DENEYSEL SİSTEM

4.6 mg/cm² kalınlıkta doğal bir ^{31}P yaprağı, Gent Devlet Üniversitesi'nin 70 MeV'lik lineer elektron hızlandırıcısında elde edilen Bremsstrahlung ile ışınlandırılmaya tabi tutulmuş ve ^{31}P hedefine çarpan fotonlar, bu çekirdeğin protonlarının saçılmasını sağlamıştır. Deneysel sistemin genel görünüşü şematik olarak Şekil 1 de görülmektedir. Proton dedektörleri olarak reaksiyon odası üzerine 37° den 143° ye kadar farklı açıda yerleştirilmiş olan 7 adet 3 mm kalınlıkta Si (Li) dedektörleri kullanılmıştır. Dedektörlerde oluşan proton sinyallerinin toplanması ve işlenmesi için kullanılan elektronik blok şu parçaları kapsamaktadır (Şekil 2) : İntegrasyon ve ayırma zaman sabiti 0,3 s olan bir priamplifikatör ve bir amplifikatör; bunlar dedektörlere yakın konulmuştur. 7 de-



Şekil. 1. — Deneysel sistemin genel görünüşü.

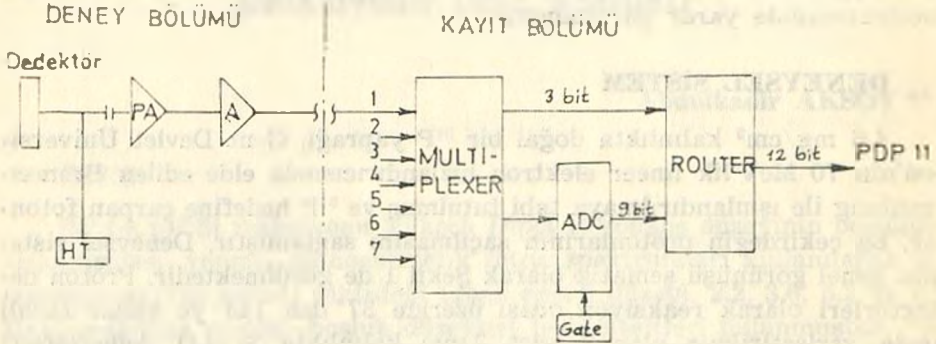
Linac : Lineer hızlandırıcı; BM : Bremsstrahlung hedef; CM : Temizleyici mıknatıs; T : Fotoproton hedef. IC : İyonizasyon odası.

dektörün sinyalleri şekillenme ve amplifikasyondan sonra 8 - inputlu multiplexer - router birimine ve 512 kanallı bir analog - to - digital dönüştürücüye verilip buradan bir PDP 11 kompütürün hafızasında toplanmıştır.

YAPMA - MONOENERJETİK FOTON SPEKTRUMU

Fotönükleer reaksiyonlarda oluşan YDR'nin bozunma mekanizması iki şekilde olur :

- 1 — Direkt - yarı direkt (DYD)
- 2 — İstatistik



Şekil. 2. — Elektronik blok diyagramı.

HT : Yüksek gerilim; PA : Prilamplifikatör; A : Amplifikatör; ADC : Analog-to-digital dönüştürücü; PDP 11 : Kompütür.

Kalıntı çekirdeğin proton - boşluk düzeylerine olan geçişler DYD mekanizması, bu çekirdeğin diğer düzeylerine olan geçişler ise istatistik mekanizma ile olmalıdır. Proton boşluk enerji düzeylerinin şiddeti ve dolayısıyla bunların tesir kesitlerinin büyüklüğü, bu düzeylerin spektroskopik faktörlerinin ölçülmesiyle sağlanır. Spektroskopik faktörler direkt reaksiyonlar diye bilinen (d , ^3He) gibi proton pick - up reaksiyonlarının sonucudur.

Öte yandan kalıntı çekirdeğin (γ , p_0), (γ , p_1), gibi taban enerji düzeyi, birinci uyarılmış düzeyi ve bunun yukarısındaki bazı düzeylerine olan bozunmalar üzerine bilgi, monoenerjetik yapma bir foton akısının oluşturulması ile de sağlanabilir. Bu metodu uygulayabilmek için, muhtelif son nokta enerjili fotoproton spektrum ölçümlerini yapmış olmak gerekir. Bu durumda ardışık son nokta enerjili 3 Bremsstrahlung foton spektrumunun bir karışımı alınarak yapma - monoenerjetik foton spektrumu elde edilir. $\emptyset_M(\text{Te}, E)$ bu spektrum ve Te elektronun son nokta enerjisi olmak üzere bu işlem :

$$\emptyset_M(\text{Te}, E) = \emptyset(\text{Te}, E) - a \emptyset(\text{Te} - 1 \text{ MeV}) + b \emptyset(\text{Te} - 2 \text{ MeV})$$

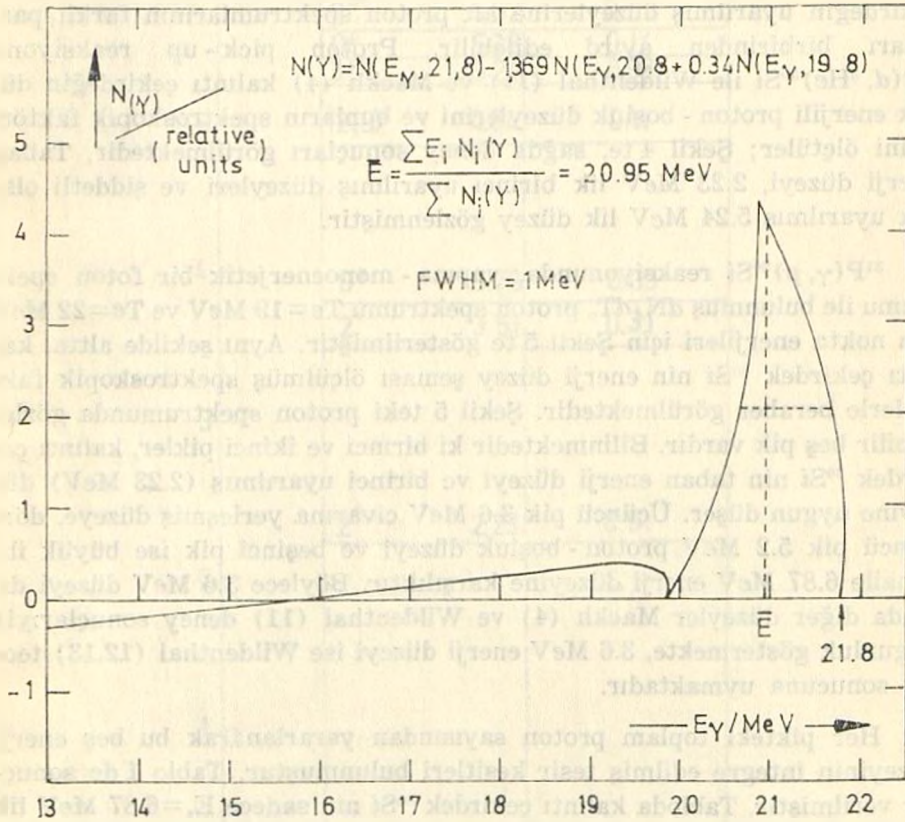
şeklinde bir ifade ile yapılır. Burada a ve b (ikisi de pozitif) paramet-

releri öyle seçilir ki, $\varnothing_M(\text{Te}, E)$ spektrumu, yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 1 MeV'ye yaklaşan monoenerjetik bir foton spektrumu olsun. Bu foton spektrumunun bir örneği Şekil 3 te gösterilmiştir.

Foton spektrumuna karşılık gelen proton spektrumu :

$$\frac{dN}{dT_p}(\text{Te}) = \frac{dN}{dT_p}(\text{Te}) - a \frac{dN}{dT_p}(\text{Te} - 1 \text{ MeV}) + b \frac{dN}{dT_p}(\text{Te} - 2 \text{ MeV})$$

ile verilir. $(\gamma, p_0), (\gamma, p_1), \dots$ kanallarının protonları $\frac{dN}{dT_p}(\text{Te})$ spektrumunda ayrı pikler halinde gözükür. (γ, p_0) taban enerji düzeyi tesir kesitini başka yöntemle bulduğumuza göre (1), diğer kanallar için tesir kesitleri belirlenebilir.



Şekil. 3. — $\text{Te}=21.8 \text{ MeV}$ son nokta enerjisi ve $a=1.369$, $b=0.34$ parametreleriyle elde edilen yapma-monoenerjetik foton spektrumu. Ortalama pik $\bar{E}=20.95 \text{ MeV}$ de oluşur.

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

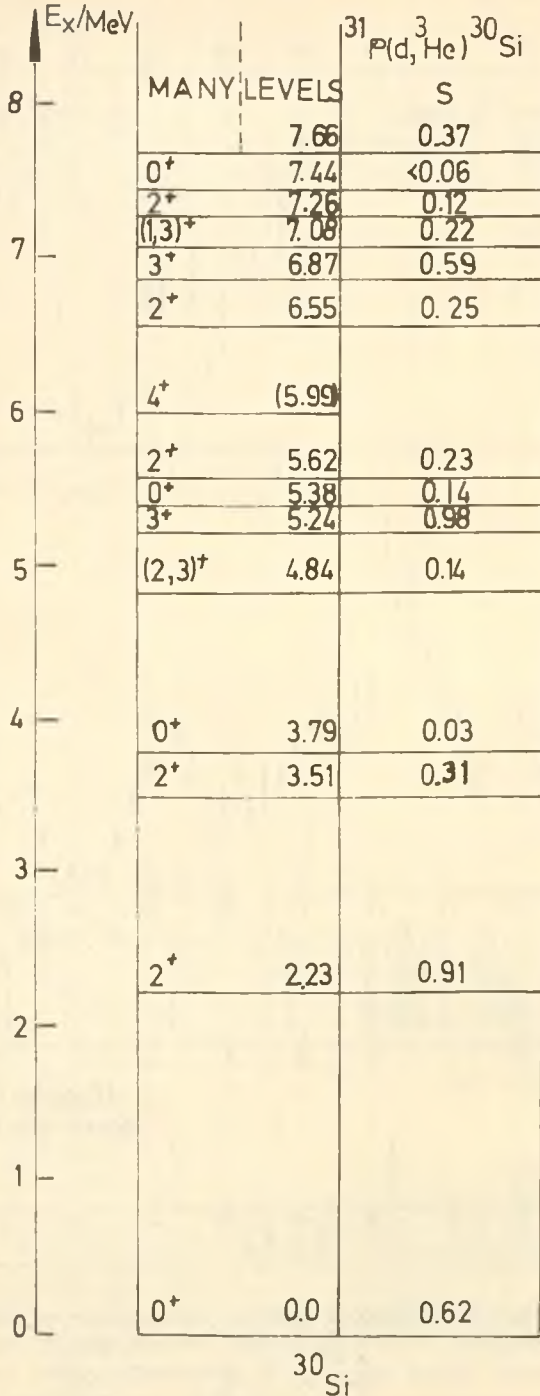
^{31}P çekirdeği için $\sigma(\gamma, p)$ toplam fotoproton tesir kesiti, $\sigma(\gamma, n)$ toplam fotonötron tesir kesitinden daha büyüktür (3, 8). Dolayısıyla düzey yoğunluğu, proton emisyonu ile oluşan kalıntı çekirdeği ^{30}Si için, nötron emisyonu ile oluşan kalıntı çekirdek ^{30}P dan daha yoğundur.

^{31}P çekirdeğinde, protonlar için Coulomb engeli çok küçük olduğundan ($\sim 3 \text{ MeV}$), protonlar, kalıntı çekirdek ^{30}Si 'nin uyarılmış proton-boşluk düzeylerine götüren DYD mekanizmasıyla yayınlanabilir.

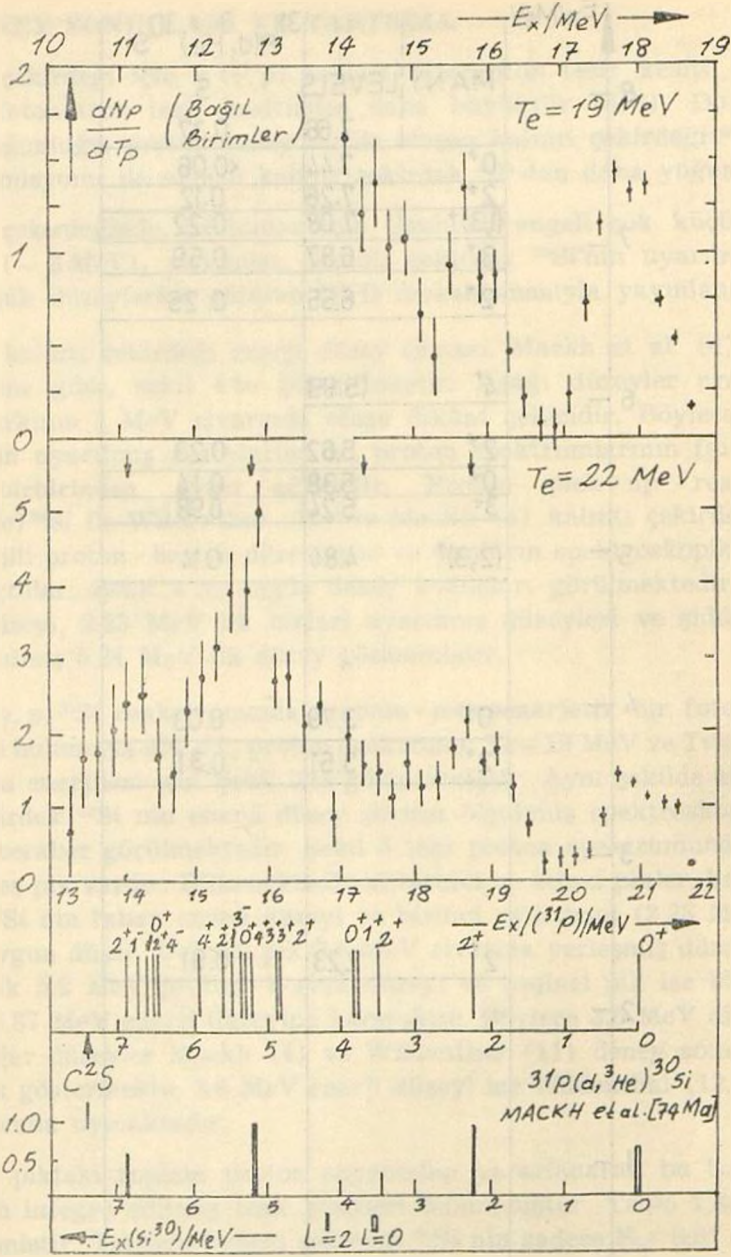
^{30}Si kalıntı çekirdeği enerji düzey şeması, Mackh et al. (4) in son ölçümlerine göre, şekil 4 te gösterilmiştir. Aşağı düzeyler arasındaki enerji farkının 1 MeV civarında oluşu dikkat çekicidir. Böylece kalıntı çekirdeğin uyarılmış düzeylerine ait proton spektrumlarının farklı parçaları birbirinden ayırd edilebilir. Proton pick-up reaksiyonu $^{31}\text{P}(d, ^3\text{He})^{30}\text{Si}$ ile Wildenthal (11) ve Mackh (4) kalıntı çekirdeğin düşük enerjili proton-boşluk düzeylerini ve bunların spektroskopik faktörlerini ölçtüler; Şekil 4 te, sağda deney sonuçları görülmektedir. Taban enerji düzeyi, 2.23 MeV lik birinci uyarılmış düzeyleri ve şiddetli olarak uyarılmış 5.24 MeV lik düzey gözlenmiştir.

$^{31}\text{P}(\gamma, p)^{30}\text{Si}$ reaksiyonunda, yapma-monoenerjetik bir foton spektrumu ile bulunmuş dN/dT_p proton spektrumu $T_e=19 \text{ MeV}$ ve $T_e=22 \text{ MeV}$ son nokta enerjileri için Şekil 5 te gösterilmiştir. Aynı şekilde altta, kalıntı çekirdek ^{30}Si nin enerji düzey şeması ölçülmüş spektroskopik faktörlerle beraber görülmektedir. Şekil 5 teki proton spektrumunda gözlemlenebilir beş pik vardır. Bilinmektedir ki birinci ve ikinci pikler, kalıntı çekirdek ^{30}Si nin taban enerji düzeyi ve birinci uyarılmış (2.23 MeV) düzeyine uygun düşer. Üçüncü pik 3.6 MeV civarına yerleşmiş düzeye, dördüncü pik 5.2 MeV proton-boşluk düzeyi ve beşinci pik ise büyük ihtimalle 6.87 MeV enerji düzeyine karşılıktır. Böylece 3.6 MeV düzeyi dışında diğer düzeyler Mackh (4) ve Wildenthal (11) deney sonuçlarıyla uygunluk göstermekte, 3.6 MeV enerji düzeyi ise Wildenthal (12,13) teorik sonucuna uymaktadır.

Her pikteki toplam proton sayısından yararlanarak bu beş enerji düzeyinin integre edilmiş tesir kesitleri bulunmuştur. Tablo 1 de sonuçlar verilmiştir. Tabloda kalıntı çekirdek ^{30}Si nin sadece $E_x=6.87 \text{ MeV}$ lik bir uyarma enerjisine kadar olan kanalların toplam tesir kesitleri gösterilmektedir. Bu enerjinin üstünde bir çok düzey vardır, ancak bunlar üzerine bilgi monoenerjetik foton yöntemiyle edinilemez. Tabloda görül-



Şekil. 4. — ^{30}Si de düşük enerjli düzeyleri (solda). Proton boşluk düzeyleri sırasıyla spektroskopik faktörleriyle sağda gösterilmiştir. $^{31}\text{P}(d, ^3\text{He})^{30}\text{Si}$ reaksiyon sonuçları H. Mackh et al. (4) makalesinden alınmıştır.



Şekil. 5. — $T_e=19\text{MeV}$ ve $T_e=22\text{MeV}$ için bir yapma-monoenerjetik foton akısı ile elde edilen foto proton spektrumu. Oklarla işaretli düzeyler deney sonuçlarımıza uygun düşen enerji düzeyleridir. Şeklin altında ^{30}Si enerji düzeyleri ve bunların ölçülmüş spektroskopik faktörleri de gösterilmiştir.

| Kanal | $\int_{E_1}^{E_2} \sigma(E) dE \text{ MeV} \cdot \text{fm}^2$ | $\frac{\int \sigma(\gamma, p_i) dE}{\int \sigma(\gamma, p) dE} \times 100$ | E_1, MeV | E_2, MeV |
|--|---|--|-------------------|-------------------|
| (γ, p_0) | 1.29 ± 0.01 | 21.4 | 14.6 | 24.8 |
| (γ, p_1) | 1.28 ± 0.08 | 21.2 | 16.8 | 24.8 |
| $[\gamma, p_2 (E_x = 3.61 \text{ MeV})]$ | 0.97 ± 0.06 | 16.1 | 17.9 | 23.9 |
| $[\gamma, p_3 (E_x = 5.2 \text{ MeV})]$ | 1.73 ± 0.01 | 28.6 | 19.0 | 23.9 |
| $[\gamma, p_4 (E_x = 6.87 \text{ MeV})]$ | 0.77 ± 0.01 | 12.7 | 19.9 | 23.9 |
| $\sum_{i=0}^4 (\gamma, p_i)$ | 6.04 ± 0.14 | 100.0 | 14.6 | 23.9 |

Tablo. 1. — $^{31}\text{P}(\gamma, p)^{30}\text{Si}$ reaksiyonunun integre edilmiş tesir kesitleri. E_1 ve E_2 enerjileri integral sınırlarıdır.

düğü gibi taban enerji düzeyi ve birinci uyarılmış düzeyi tesir kesitleri değerleri birbirine yakındır. 5.2 MeV enerji düzeyi deneyimizde de şiddetli bir düzey olarak gözlenmiştir. İntegre tesir kesitlerinin toplamı $6.04 \pm 0.14 \text{ MeV} \cdot \text{fm}^2$ dir. Bu değer bize YDR bozunma mekanizmasının DYD payını verir.

Öte yandan ^{31}P çekirdeğini terkeden bütün protonların toplamı, toplam $\sigma(\gamma, p)$ tesir kesiti Penfold ve Leiss metodu (7) ile bulunabilir. Bu tesir kesiti $16.6 + 2.5 \text{ MeV} \cdot \text{fm}^2$ değerinde elde edilmiştir (1). Böylece yukardaki DYD değeri ve bu son değer arasındaki oran, $^{31}\text{P}(\gamma, p)^{30}\text{Si}$ reaksiyonunda protonların en az % 36 sı direkt - yarı direkt ve kalan % 64 ünün ise bir istatistik reaksiyon mekanizmasıyla yayınlandığını gösterir.

SONUÇ

YDR düzeyinin bozunum mekanizması, yapma monoenerjetik foton spektrumları kullanılarak incelenmiş ve ^{30}Si kalıntı çekirdeği taban enerji düzeyi, 2.2, 3.6, 5.2 ve 6.9 MeV uyarılmış düzeyleri tesir kesitleri bulunmuştur. Literatürde bu reaksiyon sonuçlarına az rastlanmıştır. Bu düzeyler ^{30}Si kalıntı çekirdeğinin proton - boşluk düzeyleridir. Bu düzeylerin proton - boşluk karakteri pick - up deneylerinde elde edilen spektroskopik faktörlerden belirlenmiştir. Burada YDR bozunma mekanizmasının direkt - yarı direkt payı % 36 olarak, istatistik payı ise % 64 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmaya ek olarak toplam fotoproton tesir kesiti $\sigma(\gamma, p)$ hesaplanarak YDR izospin yarılması ve ^{31}P taban enerji düzeyi deformasyonu ayrıca incelenip sonuçlar fotonötron deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve ^{31}P çekirdek yapısının daha geniş bir açıklaması yapılmıştır (1).

KAYNAKLAR

1. Aksoy, A.: «Doctoral Thesis», The State University of Ghent, Belgium (1981).
2. Iskhanov, B. S., Kapitonov, I. M., Shevchenko, V. G. and Yur'ev, B. A.: Phys. Lett. 9 (1964) 162.
3. Ishkhanov, B. S., Kapitonov, I. M., Lazutin, E. V., Piskarev, I. M. and Shevchenko, V. G.: Bull. Acad. Sci. USSR 33 (1969) 1544.
4. Muckh, H. Malrle, G. and Wagner, G. J.: Z. Physik 269 (1974) 253-364.
5. Mishina, M., Tanaka, E., Kageyama, K. and Mutsuro, N.: Phys. Soc. Japan 23 (1967) 919.
6. Molinari, A.: Physics Reports 64, No. 5 (1980) 284.
7. Penfold, A. S. et al., Analysis of photo cross sections, Un. of Illinois, (1958).
8. Shoda, K., Abe, K., Ishizuka, T., Kawamura, N. and Kimura, M.: J. Phys. Soc. Japan 17 (1962) 735.
9. Tsubota, H., Kawamura, N., O. Kawa, S., Sugavara, M. and Shoda, K.: J. Phys. Soc. Japan 35 (1973) 330.
10. Veysseyre, A., Bell, H., Bergère, R., Carlos, P., Leprère, A. and De Miniac, A. Nucl. Phys. A227 (1974) 513.
11. Wildenthal, B. H. et al., Phys. Lett 28B (1968) 108.
12. Wildenthal, B. H., McGrory, J. B., Halbert, E. C. and Graber, H. D.: Phys. Rev. C4 (1971) 1708.
13. Wildenthal, B. B., McGrory, J. B.: Phys. Rev. C7 (1973) 714.