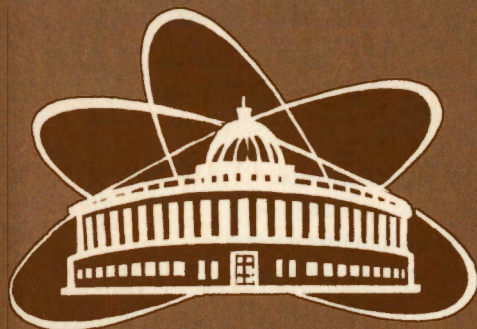




ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

JOINT INSTITUTE  
FOR NUCLEAR  
RESEARCH

**N 1 [21] -87**

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ ОИЯИ**

**JINR  
RAPID COMMUNICATIONS**

**Дубна**

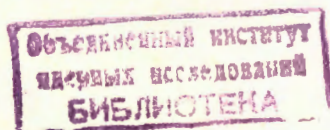
**1987**

Объединенный институт ядерных исследований  
JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH

№ 1[21]-87

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ ОИЯИ  
JINR RAPID COMMUNICATIONS

сборник  
COLLECTION



Дубна 1987

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Yu.A.Batusov, S.A.Bunyatov, I.V.Falomkin, F.Nichitiu,<br>G.B.Pontecorvo, M.G.Sapozhnikov, V.I.Tretyak,<br>F.Balestra, S.Bossolasco, M.P.Bussa, L.Busso, L.Fava,<br>L.Ferrero, D.Panzieri, G.Piragino, F.Tosello,<br>G.Bendiscoli, A.Botondi, P.Salvini, A.Zenoni,<br>C.Guaraldo, M.Maggiora, E.Lodi Rizzini, A.Haatuft,<br>A.Halsteinslid, K.Myklebost, J.Olsen, F.O.Breivik,<br>T.Jacobsen, S.O.Sorensen<br>Annihilation of Stopping Antiprotons in $^4\text{He}$ and $^3\text{He}$<br>Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, И.В.Фаломкин, Ф.Никитиу,<br>Д.В.Понтекорво, М.Г.Сапожников, В.И.Третьяк,<br>Ф.Балестра, С.Боссоласко, М.П.Бусса, Л.Буссо, Л.Фава,<br>Л.Ферреро, Д.Панциери, Г.Пираджино, Ф.Тозелло,<br>Г.Бендишиоли, А.Ротонди, П.Сальвини, А.Зенони,<br>К.Гуаральдо, А.Маджора, Э.Лоци Риццини, А.Хаатуфт,<br>А.Халштейнслид, К.Миклебост, Дж.Олсен, Ф.О.Брейвик,<br>Т.Якобсен, С.О.Соренсен<br>Аннигиляция остановившихся антипротонов<br>в $^4\text{He}$ и $^3\text{He}$ . . . . . | 5  |
| A.M.Baldin, L.A.Didenko, V.G.Grishin, A.A.Kuznetsov,<br>G.M.Maneva, Z.V.Metreveli, P.P.Temnikov<br>Hadron Jets in Deep-Inelastic $\bar{\nu}N$ Interactions<br>and Universality of the Jet Properties in Relative<br>Four-Velocity Space<br>А.М.Балдин, Л.А.Диденко, В.Г.Гришин, А.А.Кузнецов,<br>Г.М.Манева, З.В.Метревели, П.П.Темников<br>Струи адронов в глубоконеупругих $\bar{\nu}N$ -взаимодействиях<br>и универсальность их характеристик в пространстве<br>$4$ -мерных относительных скоростей. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 17 |
| K.D.Tolstov<br>К аномальной трактовке столкновений $^{40}\text{Ar} + \text{Cu}$<br>при энергиях 0,9 и 1,8 ГэВ на нуклон<br>K.D.Tolstov<br>About Anomalous Interpretation of $^{40}\text{Ar} + \text{Cu}$ Collisions<br>at 0.9 and 1.8 GeV per Nucleon Energies. . . . .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 26 |



|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ф.С.Садыхов                                                                                                                          |    |
| Квантохромодинамическое исследование процесса электроорождения пионов на нуклоне и структурных функций нуклонов                      |    |
| F.S.Sadykhov                                                                                                                         |    |
| Quantum Chromodynamic Investigation of the Pion Electroproduction on the Nucleon and the Nucleon Structure Functions. . . . .        | 34 |
| Ю.В.Борисов, Н.В.Боровикова, А.В.Васильев, Л.А.Григорьева, С.Н.Иванов, Н.Т.Кашукеев, В.В.Несвижевский, А.П.Серебров, П.С.Яйджиев     |    |
| Измерение электрического заряда нейтрона при помощи ультрахолодных нейтронов                                                         |    |
| Yu.V.Borisov, N.V.Borovikova, A.V.Vasiliev, L.A.Grigorieva, S.N.Ivanov, N.T.Kashukeev, V.V.Nesvizhevsky, A.P.Serebrov, P.S.Yajdzhiev |    |
| Investigation of the Possibility of Neutron Electric Charge Measurement by Means of Ultracold Neutrons. . . . .                      | 40 |
| Р.В.Джолос, В.П.Пермяков                                                                                                             |    |
| Влияние колебаний формы ядер на сечение подбарьерного слияния                                                                        |    |
| R.V.Jolos, V.P.Permuyakov                                                                                                            |    |
| The Effect of Nuclear Shape Oscillations on the Subbarrier Fusion Cross Section. . . . .                                             | 46 |
| Указатель статей к сборникам                                                                                                         |    |
| "Краткие сообщения ОИЯИ", №14-20, 1986                                                                                               |    |
| JINR Rapid Communications - 1986 . . . . .                                                                                           | 53 |
| Именной указатель к сборникам                                                                                                        |    |
| "Краткие сообщения ОИЯИ" №14-20, 1986                                                                                                |    |
| Author Index, 1986. . . . .                                                                                                          | 63 |

## ANNIHILATION OF STOPPING ANTIPROTONS IN $^4\text{He}$ AND $^3\text{He}$

Yu.A.Batusov, S.A.Bunyatov, I.V.Falomkin, F.Nichitiu,  
G.B.Pontecorvo, M.G.Sapozhnikov, V.I.Tretyak  
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna

F.Balestra, S.Bossolasco, M.P.Bussa, L.Busso, L.Fava,  
L.Ferrero, D.Panzieri, G.Piragino, F.Tosello  
Istituto di Fisica Generale dell'Universita' di Torino  
and INFN-Sezione di Torino, Turin, Italy

G.Bendiscioli, A.Rotondi, P.Salvini, A.Zenoni  
Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica dell'Universita'  
di Pavia and INFN-Sezione di Pavia, Pavia, Italy

C.Guaraldo, A.Maggiora  
Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, Frascati,  
Italy

E.Lodi Rizzini  
Dipartimento di Automazione Industriale dell'Universita'  
di Brescia and INFN-Sezione di Pavia, Pavia, Italy

A.Haatuft, A.Halsteinslid, K.Myklebost, J.Olsen  
Institute of Physics, University of Bergen, Norway

F.O.Breivik, T.Jacobsen, S.O.Sorensen  
Institute of Physics, University of Oslo, Norway

Annihilation of antiprotons stopping in  $^4\text{He}$  and  $^3\text{He}$  has been studied at the LEAR facility of CERN using a streamer chamber in a magnetic field. Measured are charged particle multiplicities. The ratio is determined between the annihilation probabilities on the neutron and the proton bound in the nucleus; this ratio has turned out to be nearly two times smaller than the corresponding value measured in the case of antiproton annihilation in deuterium. The causes of this discrepancy are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Аннигиляция остановившихся антипротонов в  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$

Ю.А.Батусов и др.

На ускорителе LEAR в ЦЕРНе с помощью стримерной камеры в магнитном поле изучалась аннигиляция остановившихся антипротонов в  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$ . Измерены множественности заряженных частиц. Определено отношение вероятности аннигиляции на нейтроне к вероятности аннигиляции на протоне в ядре, которое оказалось почти в два раза меньшим, чем соответствующее отношение, измеренное в случае аннигиляции антипротонов в дейтерии. Обсуждаются причины возникшего расхождения.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

A most important issue of low-energy antiproton physics is the determination of the structure of the nucleon-antinucleon interaction amplitude, for instance, the investigation of  $\bar{N}N$ -interaction in various isospin states. For this purpose experimental information is necessary on the scattering and annihilation of antiprotons both on protons and neutrons. The  $\bar{p}n$ -interaction has not been studied sufficiently well, owing to the absence of good antineutron beams. For this reason it becomes particularly important to investigate the interaction of antiprotons with the lightest nuclei, such as  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$ , to derive information on the properties of the  $\bar{p}n$ -scattering amplitude.

Earlier we carried out a series of measurements of antiproton annihilation in  $^4\text{He}$  at 20, 50 and 180 MeV $^{1-3/}$ , as well as with stopping antiprotons $^{4/}$ . The ratio  $R$  between the annihilation probabilities on the neutron and the proton bound in the  $^4\text{He}$  nucleus,

$$R = \frac{W_n^{\text{ann}}}{W_p^{\text{ann}}}, \quad (1)$$

was found to be less than unity within the energy range from 0 to 180 MeV $^{4/}$ , while in the case of stopping antiprotons  $R = 0.42 \pm 0.05$ . This value is nearly twice as small as the corresponding ratio found experimentally from annihilation of antiprotons in deuterium to be  $R = 0.75 \pm 0.02^{5/}$ , or, from the results of Ref. $^{6/}$ ,  $R = 0.82 \pm 0.03$ . There are several plausible explanations of such a discrepancy. Thus, the experiments reported in Ref. $^{5,6/}$  were performed with bubble chambers, and, as it is well known, in a liquid antiprotons annihilate from high levels of S-states owing



to a strong Stark effect <sup>/7/</sup>. Now in our experiments the antiprotons were stopped in a gas target, in which they are annihilated mainly from low-lying P- and D-levels. Then, it must be taken into account that in Refs. <sup>/5/</sup> and <sup>/6/</sup> the momenta of the antiprotons considered to be stopping were actually only less than 260 and 300 MeV/c, respectively. In contrast, for our experiments the LEAR beam with a well defined initial momentum 105 MeV/c ( $\Delta p/p \sim 10^{-3}$ ) was utilized; the distribution of the antiproton stopping points along the beam direction inside the chamber volume exhibits a clear peak (see Fig. 1).

Finally, one cannot exclude the possibility of the observed value of R being small due to non-trivial physical effects. For instance, since the  $\bar{p}n$ -interaction occurs in the pure isospin state with  $I = 1$ , while both the state with  $I = 1$  and the one with  $I = 0$  contribute to the  $\bar{p}p$ -interactions, the small value of the ratio R points to an anomalously strong interaction in the state with  $I = 0$ , that could, for example, be caused by resonances in the  $\bar{N}N$  system, the existence of which, in the vicinity of the threshold, cannot, as yet, be excluded <sup>/8,9/</sup>. Moreover, in  $\bar{p}p$ -scattering some strange oscillations of the ratio  $\rho = \text{Re}f(0)/\text{Im}f(0)$  are observed <sup>/10, 11/</sup> precisely in the vicinity of the threshold. Bearing in mind the importance of this problem, we have made an attempt to determine R in a way differing from the one adopted in ref. <sup>/4/</sup>, utilizing another part of the data on  $\bar{p}^4\text{He}$ -annihilation, and also for the  $^3\text{He}$  nucleus.

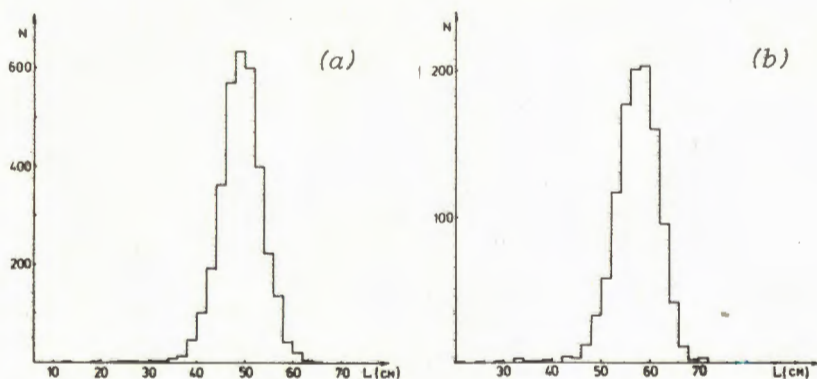


Fig. 1. Distribution of the antiproton stopping points along the beam direction in the chamber volume plotted for annihilation events in  $^3\text{He}$  (a) and  $^4\text{He}$  (b).

A detailed description of the experimental apparatus may be found in Ref.<sup>12/</sup>, so here we shall only recall its main features. A self-shunted streamer chamber<sup>13/</sup> placed in a 0.22 T magnetic field and filled with  $^4\text{He}$  or  $^3\text{He}$  at atmospheric pressure served simultaneously as the target and the detector. The chamber volume was  $70 \times 90 \times 18 \text{ cm}^3$ . The target thickness was  $15 \text{ mg/cm}^2$ . The triggering system consisted of scintillation counters before the chamber. An important feature of the LEAR antiproton beam is that it is free of any pion contamination whatsoever. The total energy losses of the beam in the trigger scintillation counters and the entrance window to the chamber were made to be such that upon passing  $\sim 50 \text{ cm}$  the incident antiprotons with an energy of  $\sim 2.5 \text{ MeV}$  came to a stop in central region of the chamber volume. The distribution of the stopping points along the beam inside the chamber is shown in Fig. 1. A clear peak is seen, and its position coincides with the calculated value, while its width is determined by the natural straggling of the antiprotons.

Photographs of the streamer chamber volume were taken using two cameras equipped with Leitz lenses. The optical axes of the lenses were parallel to the electric and magnetic fields, and the distance between them was 280 mm. Each photograph represented a picture of only a single antiproton interaction event. A triple scanning of the film was performed with an efficiency of 99.5%.

For achieving a good track quality a  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  admixtures of 0.14% was included in the  $^3\text{He}$  gas filling of the chamber. Events occurring within a 25 cm long central region in the chamber were analyzed. A total of 3127  $\bar{p}^3\text{He}$  annihilation events were found inside this fiducial volume. The charged prong multiplicity distribution for these events is given in Table 1.

As one can see from Table 1, 12.8% of the events involve an even number of charged particles. Now, since the total charge of the final state in  $\bar{p}^3\text{He}$ -annihilation equals +1, no such events with an even number of tracks should be observed, when the streamer chamber is filled with pure  $^3\text{He}$ , and given a 100% detecting efficiency. However, owing to the interaction of antiprotons with the  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  admixture and to the ineffective operation of the chamber, which may lead to some of the dim tracks of weakly ionizing high-energy pions being lost as well as to the loss of the short tracks (less than 0.5 cm long) of spectator protons ( $\sim 3\%$  of the total statistics), a certain number of events may appear to be with an even number of tracks. Since the admixture to the filling gas of



Table 1

Relative probabilities  $B_A$  of  $\bar{p}^3\text{He}$  annihilation channels with differing charged particle multiplicities

| $N_{ch}$ | $N_{ev}$ | $B_A$ with account of<br>"odd" events only<br>$N_{ev}$ $B_A, \%$ |                 | $N_{ev}$ | $B_A, \%$       |
|----------|----------|------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|-----------------|
| 0        | 2        |                                                                  |                 |          |                 |
| 1        | 148      | 148                                                              | $5.43 \pm 0.43$ | 150      | $4.8 \pm 0.4$   |
| 2        | 119      |                                                                  |                 |          |                 |
| 3        | 1098     | 1098                                                             | $40.3 \pm 0.9$  | 1217     | $38.9 \pm 0.8$  |
| 4        | 213      |                                                                  |                 |          |                 |
| 5        | 1252     | 1252                                                             | $45.9 \pm 1.0$  | 1465     | $46.9 \pm 0.9$  |
| 6        | 57       |                                                                  |                 |          |                 |
| 7        | 218      | 218                                                              | $8.0 \pm 0.5$   | 275      | $8.8 \pm 0.5$   |
| 8        | 8        |                                                                  |                 |          |                 |
| 9        | 10       | 10                                                               | $0.37 \pm 0.12$ | 18       | $0.58 \pm 0.14$ |
| 10       | 1        |                                                                  |                 |          |                 |
| 11       | 0        |                                                                  |                 |          |                 |
| 12       | 1        |                                                                  |                 |          |                 |
| $\Sigma$ | 3127     | 2726                                                             |                 | 3125     |                 |

Note: two events with  $N_{ch}$  equal to 10 and 12 were considered to be annihilation events on the admixture.

the chamber was sufficiently small (we estimated the events due to annihilation on the admixture to make up for only ~2.4% of the total number of events), such cases were not taken into account in determining the charged prong multiplicity distribution. The correction related to the inefficiency of the chamber operation was made assuming that only a single charged particle track may be lost in a given annihilation events. Then, in calculating the relative probability  $B_A$  of obtaining  $N_{ch}$  charged particles each number  $N_{ch}$  corresponding to events of odd track multiplicity was enhanced by the preceding number ( $N_{ch} - 1$ ) of events with even track multiplicity. The final result is given in the last column of Table 1. The above assumption concerning, the loss of a single particle track is justified by the results given in the 4th column of Table 1. These figures are obtained by discarding all the events with even prong multiplicities and taking into account only events with odd track multiplicities for calculating the respective branching ratios  $B_A$ . One can see

that within the experimental error the adopted procedure does not alter the branching ratios of the various annihilation channels.

For analysis of antiproton annihilation in  ${}^4\text{He}$  1009 events were chosen. The corresponding charged prong multiplicity distribution is given in Table 2.

Table 2

*Relative probabilities  $B_A$  of  $\bar{p}{}^4\text{He}$  annihilation channels with differing charged particle multiplicities*

| Number of prongs,<br>$N_{ch}$ | Number of events,<br>$N_{ev}$ | $B_A, \%$       |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| 1                             | 28                            | $2.8 \pm 0.5$   |
| 2                             | 57                            | $5.7 \pm 0.7$   |
| 3                             | 320                           | $31.7 \pm 1.5$  |
| 4                             | 123                           | $12.2 \pm 1.03$ |
| 5                             | 354                           | $35.1 \pm 1.5$  |
| 6                             | 42                            | $4.2 \pm 0.6$   |
| 7                             | 76                            | $7.5 \pm 0.8$   |
| 8                             | 3                             | $0.30 \pm 0.17$ |
| 9                             | 3                             | $0.3 \pm 0.17$  |
| 10                            | 2                             | $0.20 \pm 0.14$ |
| 11                            | 1                             | $0.10 \pm 0.10$ |
| $\Sigma$                      | 1009                          |                 |

The admixtures present in the  ${}^4\text{He}$  gas filling of the chamber were  $\leq 0.1\%$ . In  ${}^4\text{He}$  less short tracks of spectator protons, than in  ${}^3\text{He}$ , were lost. We estimated the amount of events in which a track was lost to be  $\sim 0.1\%$  of the total number of events.

It must be stressed that a streamer chamber operating at low pressure represents a very good instrument for studying charged particle multiplicities. Thus, for instance, the tracks of a 250 keV  $\alpha$ -particle or of a 160 keV proton are 1 cm long in the chamber and are quite visible. In contrast, the tracks of spectator protons in  $\bar{p}d$ -annihilation events registered in a bubble chamber <sup>14</sup> were not detected in 73% of the events.

The relative probabilities of different annihilation channels involving different charged particle multiplicities may be conveniently compared, for differing nuclei, by comparing the number of negative pions produced. It is readily shown that in the case of annihilation on  ${}^3\text{He}$

$N_{\pi-} = (N_{ch} - 1)/2$ , while in the case of  $\bar{p}^4\text{He}$ -annihilation the charged prong multiplicities  $N_{ch} = 1, 2+3, 4+5, 6+7, \dots$  correspond, respectively, to events with  $N_{\pi-} = 0, 1, 2, 3, \dots$ . In Table 3 presented are the relative probabilities,  $B_A^i$ , of negative pion production in annihilation of stopping antiprotons on the  $^3\text{He}$  and  $^4\text{He}$  nuclei, and on  $^2\text{H}$  (from Ref. <sup>18/</sup>). One can see that, although the values of  $B_A^i$  for the different isotopes of helium differ little, they differ quite noticeably from the corresponding quantities for  $\bar{p}d$ -annihilation.

Table 3

*Relative probabilities of negative pion production in annihilation of stopping antiprotons with different nuclei*

| Nucleus                                        | Number of negative pions |                |                |                | $N_{\pi-}$      |
|------------------------------------------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|                                                | 0                        | 1              | 2              | 3              | 4               |
| $^2\text{H}$<br>(from<br>ref. <sup>18/</sup> ) | 2.9 $\pm$ 0.3            | 30.7 $\pm$ 0.9 | 52.1 $\pm$ 1.4 | 14.1 $\pm$ 0.8 |                 |
| $^2\text{H}$<br>(theory)                       | 2.9                      | 31.7           | 52.6           | 12.5           | 0.16            |
| $^3\text{He}$                                  | 4.8 $\pm$ 0.4            | 38.9 $\pm$ 0.8 | 46.9 $\pm$ 0.9 | 8.8 $\pm$ 0.5  | 0.58 $\pm$ 0.14 |
| $^4\text{He}$                                  | 2.7 $\pm$ 0.5            | 36.8 $\pm$ 1.5 | 47.6 $\pm$ 1.6 | 12.1 $\pm$ 1.0 | 0.6 $\pm$ 0.18  |

The relative probabilities  $B_A^i$  can be computed knowing the yields  $b_p^i$  and  $b_n^i$  of negative pions in  $\bar{p}p$ - and  $\bar{p}n$ -annihilation, respectively, as well as the ratio  $R$  from (1):

$$B_A^i = W_p^{\text{ann}} \cdot b_p^i + W_n^{\text{ann}} \cdot b_n^i. \quad (2)$$

Here  $W_p^{\text{ann}}$  and  $W_n^{\text{ann}}$  represent the annihilation probabilities on the proton and neutron, respectively, in the nucleus;  $i$  is the number of negative pions. If one assumes the annihilation probability on the proton or on the neutron in the nucleus to depend only on their number and on the ratio  $R_0$  for free nucleons, then

$$W_p^{\text{ann}} = \frac{Z}{Z + NR_0}; \quad W_n^{\text{ann}} = \frac{NR_0}{Z + NR_0}, \quad (3)$$



where  $Z$  and  $N$ , respectively, are the number of protons and neutrons in the nucleus, and  $R_0$  represents the ratio between the annihilation probabilities on the neutron and on the proton in the case of free nucleons. It is readily seen that, when  $Z = N$ ,  $R$  equals  $R_0$ .

In Table 3 the calculated values are given of  $B_A$  for  $\bar{p}d$  annihilation. The relative outputs  $b_p^i$  for  $\bar{p}p$  annihilation are from Refs.<sup>/15,16/</sup> with account of kaon production in the final state. The relative outputs  $b_n^i$  are taken from Ref.<sup>/17/</sup>.  $R_0$  is assumed to be  $R_0 = 0.8$ . One can see that the multiplicity distribution for negative pions produced in  $\bar{p}d$  annihilation is described well by relations (3)-(4). However, from (4) it follows that for a given  $R_0$  the multiplicity distributions for any nuclei with  $Z = N$  should be identical. Actually, this is not so, which is confirmed by the results for annihilation in  $^4\text{He}$  presented in Table 3.

A possible explanation of the above discrepancy is that the pions produced in annihilation may undergo interaction in the final state with the nucleons of the residual nucleus and, thus, alter the relative probabilities  $B_A^i$ . In annihilation an average of 5 pions is created with a mean energy of  $T \sim 220$  MeV. Such pions may quite effectively interact with the residual nucleus. However, not any final-state interaction (FSI) will lead to an alteration of the spectrum  $B_A^i$ . A change in the number of negative pions will only take place owing to reactions of the charge-exchange type:



or to pion absorption:



Processes (4) and (6) lead to the loss of one negative annihilation pion, while reaction (5) results in the production of an additional negative pion. Thus, variation of the negative pion multiplicity distribution is due to two processes counteracting each other.

In Figs. 2, 3 the relative probabilities  $B_A^i$  are presented for annihilation of antiprotons in  ${}^3\text{He}$  and  ${}^4\text{He}$  computed with account of FSI. The probability for a pion to undergo interaction in the final state with a nucleon of the residual nucleus was taken to be  $W_{\text{FSI}} = 0.2$ , while the probability of losing a negative pion through charge

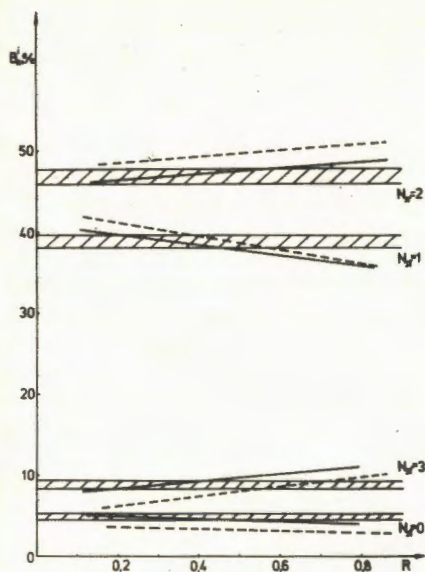
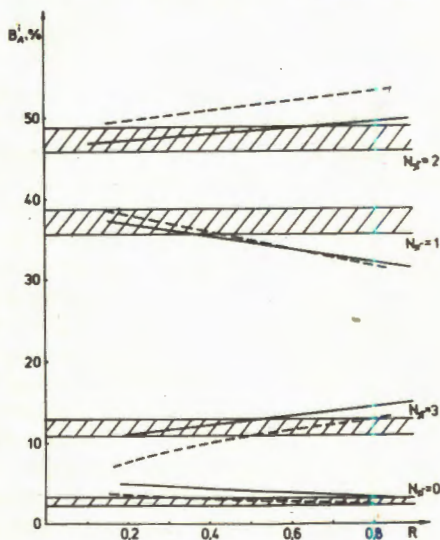


Fig. 2. Relative probabilities  $B_A$  for annihilation in  ${}^3\text{He}$  computed with account of FSI (solid lines) and without account of FSI (dashed lines). The shaded areas represent the experimental error corridors for channels with different negative pion multiplicities,  $N_{\pi^-}$ .

exchange in the final state was assumed to be  $W_{\text{CEX}} = 0.2$  (approximately equal to the ratio of the cross section of reaction (4) to the total  $\pi^-p$ -interaction cross section in the  $\Delta_{33}$ -resonance

region). The probability for the FSI to result in the production of an additional negative pion was considered equal to  $W_{\text{CEX}}$ . In calculations the relative probability of each exclusive  $\bar{p}p$  and  $\bar{p}n$  annihilation channel, in which a given number of negative and neutral pions is produced, was taken into account, as well as the fact that the loss of a negative pion in the  $i$ -th  $\bar{p}A$  annihilation channel led to the appearance of an additional event in the  $(i-1)$ -th bin of the multiplicity distribution. The results of calculations for different  $R_0$  are represented by solid lines in the plots of Figs. 2 and 3. One can see that taking into account the FSI does not alter the multiplicity distribution significantly, but the general agreement with the experimental data does become better.

Fig. 3. Relative probabilities  $B_A$  for annihilation in  ${}^4\text{He}$ . The notations adopted are the same as in Fig. 2.



It must be stressed that, although taking into account of the FSI on the whole, leads to small changes in the probabilities  $B_A^i$ , charge exchange processes are, nevertheless, themselves quite significant (see Table 4) and occur in a great part (~10-20%) of the annihilation events.

Table 4

*Influence of interaction in the final state on the relative probabilities  $B_A$  for  $R_0 = 0.8$ .*

| $W_{FSI} = 0.2, W_{CEX} = 0.2 \quad W_{FSI} = 0.4, W_{CEX} = 0.2$ |                                                  |                                                                  |                                                                  |                                             |                                                                  |                                                                  |                                             |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| $N_{\pi^-}$                                                       | $B_A, \%$<br>with-<br>out ac-<br>count<br>of FSI | Change<br>in $B_A$<br>(%)<br>due to<br>$\pi^0 \rightarrow \pi^-$ | Change<br>in $B_A$<br>(%)<br>due to<br>$\pi^- \rightarrow \pi^0$ | $B_A, \%$<br>with<br>acco-<br>unt<br>of FSI | Change<br>in $B_A$<br>(%)<br>due to<br>$\pi^0 \rightarrow \pi^-$ | Change<br>in $B_A$<br>(%)<br>due to<br>$\pi^- \rightarrow \pi^0$ | $B_A, \%$<br>with<br>acco-<br>unt<br>of FSI |
| 0                                                                 | 2.9                                              | -0.3                                                             | +1.5                                                             | 4.1                                         | -0.4                                                             | +2.7                                                             | 5.1                                         |
| 1                                                                 | 32.2                                             | -3.1                                                             | +4.4                                                             | 32.4                                        | -4.9                                                             | +7.4                                                             | 32.5                                        |
| 2                                                                 | 52.6                                             | -3.4                                                             | +1.4                                                             | 49.4                                        | -5.8                                                             | +2.2                                                             | 46.5                                        |
| 3                                                                 | 12.5                                             | -0.5                                                             | +0.02                                                            | 14.0                                        | -0.9                                                             | +0.03                                                            | 15.2                                        |

When the quantities  $R_0$  and  $W_{FSI}$  are treated as free parameters, the best agreement with experimental data is obtained with the following values:

$$\begin{aligned}
 R_0 &= 0.35 \pm 0.07, \quad W_{FSI} = 0.15 \pm 0.03 \quad \text{for } {}^3\text{He}, \\
 R_0 &= 0.48 \pm 0.1, \quad W_{FSI} = 0.08 \pm 0.05 \quad \text{for } {}^4\text{He}.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

These values are in agreement with the previous result,  $R = 0.42 \pm 0.05$ , of ref. <sup>/4/</sup>, in which the numbers of annihilation events on a proton and a neutron of the  ${}^4\text{He}$  nucleus were measured directly using a smaller statistic of events and neglecting FSI effects.

How can one interpret the extremely interesting fact that  $R_0$  deduced from the data on  $\bar{p} {}^3\text{He}$  and  $\bar{p} {}^4\text{He}$  annihilation turns out to be twice as small as the value derived from  $\bar{p} d$  annihilation? First of all, one can express doubt whether the simple relationship (3) between the annihilation probabilities on bound nucleons,  $W_n$  and  $W_p$ , and the corresponding probabilities on free nucleons is justified. It may turn out that the relation between  $R_0$  and  $W_n, W_p$  changes significantly owing to the screening of nucleons in the nucleus. Let us estimate the screening effects utilizing simple semi-classical arguments, such



as the ones made use of by Glauber in Ref.<sup>18</sup>. Let  $\delta_{pn}$  be the probability for the proton happen to be in the "shadow" of a neutron; then

$$\delta_{pn} = \frac{f_n}{4\pi r_{NN}^2}, \quad (8)$$

where  $f_n$  is the annihilation probability on a free neutron, which is determined solely by the effective dimensions of the neutron,  $f_n = \pi r_{ann}^2$ , where  $r_{ann}$  is the effective annihilation radius. The quantity  $r_{NN}$  occurring in (8) is the mean distance between the nucleons in the nucleus. Then, it is not difficult, for instance, for  $\bar{p}^4\text{He}$  annihilation, to write out the probabilities  $W_p$  and  $W_n$  with account of the mutual screening of the nucleons:

$$\begin{aligned} W_p &= 2f_p(1 - \delta_{pp} - 2\delta_{pn}), \\ W_n &= 2f_n(1 - \delta_{nn} - 2\delta_{np}), \end{aligned} \quad (9)$$

where  $\delta_{pp}$ ,  $\delta_{nn}$  and  $\delta_{np}$  correspond to screening corrections in the (pp), (nn) and (np) systems, which are determined as in (8). Then, making use of (8)-(9) and taking into account that  $f_n/f_p = R_0$  one can obtain the following relationship between  $R$  and  $R_0$ :

$$R = R_0 \frac{1 - 1/4(r_{ann}/r_{NN})^2(R_0 + 2)}{1 - 1/4(r_{ann}/r_{NN})^2(1 + 2R_0)}. \quad (10)$$

The screening is most significant, when  $r_{ann} = r_{NN}$ . In this case, if  $R_0 = 0.8$  is substituted into (10), we obtain  $R = 0.69$ , which is noticeably larger than the experimentally observed values (7). If, which is more probable, the effective annihilation radius is smaller than the average distance between the nucleons in the nucleus, for example,  $r_{ann} = r_{NN}/2$ , then from (10), under the same assumption that  $R_0 = 0.8$ , it follows that  $R = 0.79$ . Thus, the screening effect is small.

In conclusion we note that in this work relative probabilities have been measured of the production of different numbers of charged particles in the annihilation of stopping antiprotons in  $^3\text{He}$  and  $^4\text{He}$ . It has been found that the multiplicity distributions differ quite significantly from the corresponding distributions for  $\bar{p}d$  annihilation. Analysis of the obtained results has revealed that the said difference cannot be due only to interaction

in the final state of the annihilation pions or to screening effects of nucleons in the nucleus. It was obtained that the annihilation probability on a proton bound in the nucleus is approximately twice as high as the probability of annihilation on a neutron. This fact points to a significant domination of annihilation in the state with isospin  $I = 0$  near the threshold.

The authors are grateful to S.I. Merzlyakov for technical assistance and G.A. Kulkova, M.N. Shelaeva and L.A. Vasilenko for their essential help in scanning and measuring the experimental material.

### References

1. Balestra F. et al. Phys.Lett.B, 1984, 149, 69.
2. Balestra F. et al. Phys.Lett.B, 1985, 165, 265.
3. Batusov Yu.A. et al. JINR Rapid Comm., No.12-85, Dubna, 1985, p.6.
4. Balestra F. et al. Preprint CERN-EP/86-104, Geneva, 1986; Nucl.Phys. (in press).
5. Kalogeropoulos T., Tzanakos G.S. Phys.Rev.D, 1980, 22, 2585.
6. Bizzarri R. et al. Nuovo Cim. A, 1974, 22, 225.
7. Day T.B., Snow G.A., Sucher J. Phys.Rev., 1960, 118, 864.
8. Dover C. Preprint BNL-38285, Upton, 1986.
9. Sapozhnikov M.G. JINR Preprint, P4-86-695, Dubna, 1986.
10. Bruckner W. et al. Phys.Lett.B, 1985, 158, 180.
11. Linssen L. Ph.D.Theses, NIKHEF-H, Amsterdam, 1986.
12. Balestra F. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1985, 234, 30.
13. Falomkin I.V. et al. Nucl.Instr.and Meth., 1967, 53, 266.
14. Gray L., Hagery P., Kalogeropoulos T. Phys.Rev.Lett., 1971, 26, 1491.
15. Armenteros R. et al. CERN Preprint, PSCC/80/101, Geneva, 1980.
16. Ghesquiere C. Proc.of Symp.on NN-Interactions, Liblice, CERN-74-18, 1974.
17. Ofranidis S.I., Rittenberg R. Nucl.Phys.B, 1979, 59, 570.
18. Glauber R.Y. Phys.Rev., 1955, 100, 242.

Received on January 12, 1987.

УДК 539.123.6

HADRON JETS IN DEEP-INELASTIC  $\bar{\nu}N$  INTERACTIONS  
AND UNIVERSALITY OF THE JET PROPERTIES IN RELATIVE  
FOUR-VELOCITY SPACEA.M.Baldin, L.A.Didenko, V.G.Grishin, A.A.Kuznetsov,  
G.M.Maneva, Z.V.Metreveli\*, P.P.Temnikov

A new definition of the jets as clusters in the four-velocity space has been used to make an invariant analysis of the jet production processes in  $\bar{\nu}N$  collisions for the three energy intervals of the hadron system:  $\langle W \rangle = 3.5; 4.9; 8.0$  GeV. The obtained results are compared with the characteristics of the four-dimensional jets in various types of interactions:  $pp, \bar{p}p, \pi^-p, \pi^-C, pC$  and  $pTa$  at energies from 6 to 205 GeV. The characteristics of the four-dimensional jets in soft and hard interactions are shown to be universal, i.e., independent of neither the type of the fragmenting system ( $p, \bar{p}, \pi^-, C, q$ ), nor the collision energy for  $P_{lab} \geq 22$  GeV/c ( $\sqrt{s} = W > 6$  GeV). The obtained result means that the hadronization of the colour charges is determined by the dynamics of their interaction with vacuum.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Струи адронов в глубоконеупругих  $\bar{\nu}N$ -взаимодействиях и универсальность их характеристик в пространстве 4-мерных относительных скоростей

А.М.Балдин и др.

На основе нового определения струй как кластеров в четырехмерном пространстве относительных скоростей проводится инвариантный анализ струйного рождения адронов в  $\bar{\nu}N$ -столкновениях для трех интервалов энергии  $W$  адронной системы:  $\langle W \rangle = 3,5; 4,9; 8,0$  ГэВ. Полученные результаты сравниваются с характеристиками четырехмерных струй в различных типах взаимодействий:  $pp, \bar{p}p, \pi^-p, \pi^-C, pTa, pC$  в области энергий от 6 до 205 ГэВ. Показано, что характеристики четырехмерных струй в мягких и жестких взаимодействиях универсальны, т.е. не зависят ни от типа фрагментирующей системы

\*High Energy Institute of Tbilisi State University.



( $p, \bar{p}, \pi^-, C, q$ ), ни от первичной энергии для  $P_{\text{лаб}} > 22 \text{ ГэВ/с}$  ( $\sqrt{s} = W > 6 \text{ ГэВ}$ ). Полученный результат означает, что адронизация цветных зарядов определяется динамикой их взаимодействия с вакуумом.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

A new relativistic invariant method was suggested in refs. /1,2,3/ to obtain the characteristics of the hadron jets in soft hadron-hadron ( $\pi^-p, pp, \bar{p}p$ ) and hadron-nucleus ( $\pi^-C, pC, pTa$ ) interactions in an energy range of  $6 \div 205 \text{ GeV}$ .

In this method the multiple particle production processes

$$I + II \rightarrow 1 + 2 + 3 \dots \quad (1)$$

are considered in the space the points of which are the four-velocities  $u_i = P_i / m_i$ , where  $P_i$  are the four-momenta of the particles divided by their masses  $m_i$ . The positive invariant quantities having the meaning of the squared distances in this space,

$$b_{ik} = -(u_i - u_k)^2 = 2[(u_i u_k) - 1], \quad (2)$$

where  $i, k = I, II, 1, 2, 3, \dots$ , are basic variables describing the relative particle motion.

The idea of introducing the  $b_{ik}$  variables consists in that the cross section of processes (1) have the following properties: in definite domains of these variables the  $b_{ik}$  distributions decrease monotonously and rather rapidly with increasing  $b_{ik}$ . These properties are formulated as the correlation depletion principle (CDP), which results in the fact that the distributions describing multiple particle processes are factorized in the four-velocity space  $b_{ik}$ , i.e. decay into factors assigned to different clusters in this space.

In the present paper CDP has just been used to formulate a new approach to hadron jets: the jet is considered as a cluster with relatively small  $b_{ik}$  values in the relative velocity space. The jet axis is determined as a single four-vector  $V$  that is extracted from the condition of minimum of the quantity:

$$\sum_k b_k = - \sum_k (V - u_k)^2. \quad (3)$$

Summation is performed over the particles belonging to a separated group of particles. Quantity (3) is minimal for

$$V = \sum_k u_k / \sqrt{(\sum_k u_k)^2}. \quad (4)$$

In the  $pp$ ,  $\bar{p}p$ ,  $\pi^-p$ ,  $\pi^-C$ ,  $pC$  and  $pTa$  interactions the hadron jets produced in the beam and target fragmentation regions were selected using the relativistic invariant method, and the  $b_k$  distributions of different particles in the jets were studied.

The results of this analysis have shown that the properties of the four-dimensional jets are independent of neither the type of the fragmenting system ( $\pi^-$ ,  $p$ ,  $\bar{p}$ ,  $C$ ) nor the collision energy for  $E \geq 22$  GeV. These experimental facts have pointed out that the hadronization of quarks, diquarks and multiquark systems at high energies is identical in these variables and determined by the interaction dynamics of colour charges with vacuum. In this connection it is particularly important to apply the suggested method to the processes in which, as is generally agreed, the jets are produced due to the hadronization of colour objects in vacuum. It is interesting to analyse the properties of the hadron jets in deep inelastic lepton-nucleon collisions in which, according to the presently existing ideas, an "isolated" (knocked-out) quark and a diquark the hadronization of which is similar to the soft hadronization of quarks and diquarks in hadron collisions (fig. 1) are produced.

To this end, we have analysed the hadron jet properties using the experimental material on  $\bar{\nu}N$  interactions obtained by the IHEP, ITEP, FNAL and Michigan State University Collaboration.

The data on  $\bar{\nu}N$  interactions were obtained with the aid of a 15-foot bubble chamber filled with a neon-hydrogen mixture (64% of Ne atoms) at the FNAL accelerator. The chamber was exposed to a beam of muon antineutrinos with

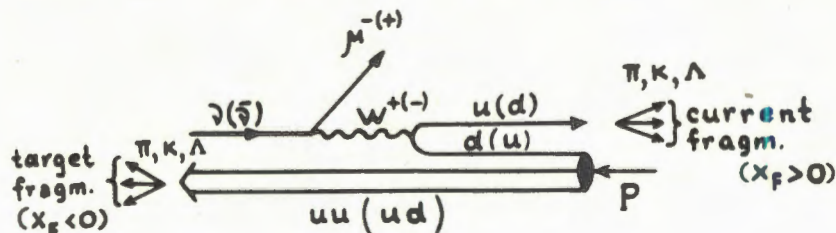


Fig.1. The diagrams of  $\bar{\nu}p$  interaction.

Summation is performed over the particles belonging to a separated group of particles. Quantity (3) is minimal for

$$V = \sum_k u_k / \sqrt{(\sum_k u_k)^2}. \quad (4)$$

In the  $pp$ ,  $\bar{p}p$ ,  $\pi^-p$ ,  $\pi^-C$ ,  $pC$  and  $pTa$  interactions the hadron jets produced in the beam and target fragmentation regions were selected using the relativistic invariant method, and the  $b_k$  distributions of different particles in the jets were studied.

The results of this analysis have shown that the properties of the four-dimensional jets are independent of neither the type of the fragmenting system ( $\pi^-$ ,  $p$ ,  $\bar{p}$ ,  $C$ ) nor the collision energy for  $E \geq 22$  GeV. These experimental facts have pointed out that the hadronization of quarks, diquarks and multiquark systems at high energies is identical in these variables and determined by the interaction dynamics of colour charges with vacuum. In this connection it is particularly important to apply the suggested method to the processes in which, as is generally agreed, the jets are produced due to the hadronization of colour objects in vacuum. It is interesting to analyse the properties of the hadron jets in deep inelastic lepton-nucleon collisions in which, according to the presently existing ideas, an "isolated" (knocked-out) quark and a diquark the hadronization of which is similar to the soft hadronization of quarks and diquarks in hadron collisions (fig. 1) are produced.

To this end, we have analysed the hadron jet properties using the experimental material on  $\bar{\nu}N$  interactions obtained by the IHEP, ITEP, FNAL and Michigan State University Collaboration.

The data on  $\bar{\nu}N$  interactions were obtained with the aid of a 15-foot bubble chamber filled with a neon-hydrogen mixture (64% of Ne atoms) at the FNAL accelerator. The chamber was exposed to a beam of muon antineutrinos with

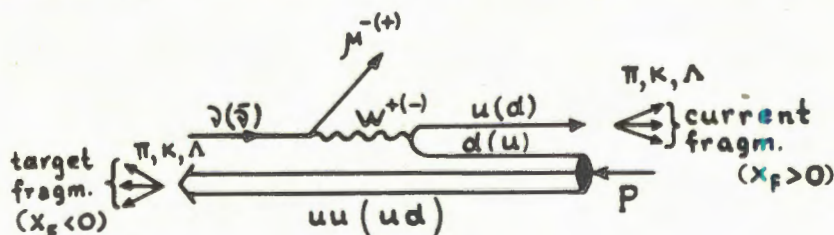


Fig.1. The diagrams of  $\bar{\nu}p$  interaction.



a broad energy spectrum. A total of about 8000 interactions of the type

$$\tilde{\nu} + N \rightarrow \mu^+ + \sum_i h_i$$

in which  $E_{\mu} \geq 4$  GeV and  $E_{\tilde{\nu}} \geq 10$  GeV, in this case  $\langle E_{\tilde{\nu}} \rangle = 35$  GeV, were measured. The events with  $Q^2 = -q^2 \geq 1$  (GeV/c)<sup>2</sup> and

$$x_B = Q^2/2M\nu \geq 0.1, \quad (5)$$

where  $q$  is the four-momentum transfer;  $M$ , the nucleon mass; and  $\nu = E_{\tilde{\nu}} - E_{\mu^+}$ , the energy of hadrons in the laboratory system, were selected to separate deep inelastic  $\tilde{\nu}N$  collisions with valent  $u$ -quarks. To separate the multiple particle production region  $W$  was required to be  $W^2 \geq 9$  GeV<sup>2</sup> ( $W$  is the total hadron energy in the c.m.s.). According to these criteria, 2383 interactions were selected. The conditions  $\sum_i e_i = 0$  or  $-1$  and  $n_N \leq 1$  ( $e_i$  is the charge of secondary particles and  $n_N$  the number of secondary nucleons in the interaction) were used to exclude nuclear effects which are due to cascade nucleon reproduction in the nucleus. As a result, we had selected about 1000 events of deep inelastic  $\tilde{\nu}$  collisions with valent  $u$ -quarks and  $W^2 \geq 9$  GeV<sup>2</sup>.

It is generally accepted that in the  $\tilde{\nu}N$  collisions the particles with  $y_1^* > 0$ , where  $y_1^*$  is the hadron rapidity in the c.m.s., are attributed to the knocked-out quark jet and the particles with  $y_1^* < 0$  to the jet of the diquark spectator. For the pion jets selected in such a way (protons were not considered in this analysis) the jet axis was found by formula (4) and the  $b_k$  distribution (3) of  $\pi^-$  mesons was obtained by analogy with the hadron-hadron and hadron-nucleus collisions considered earlier. In order to clear up the energy dependence of the pion  $b_k$  distributions in the  $\tilde{\nu}N$  collisions, the latter were divided into three energy intervals: 1)  $W = 3 \div 4$  GeV, 2)  $W = 4 \div 6$  GeV and 3)  $W \geq 6$  GeV. Figure 2 shows the  $b_k$  distributions of  $\pi^\pm$  mesons (the  $\pi^+$  and  $\pi^-$   $b_k$  distributions are the same) in the jets produced in the fragmentation of the knocked-out quark and the diquark spectator for the three energy intervals of the hadron system. In the  $b_k \geq 2$  region all the distributions have an exponential character.

The average  $\langle b_k \rangle$  values and  $B$  slope distributions obtained by approximation

$$dN/db_k = A \exp(-b_k/B) \quad (6)$$

are given in Table 1.

$\gamma N$ -collisions  
current jet

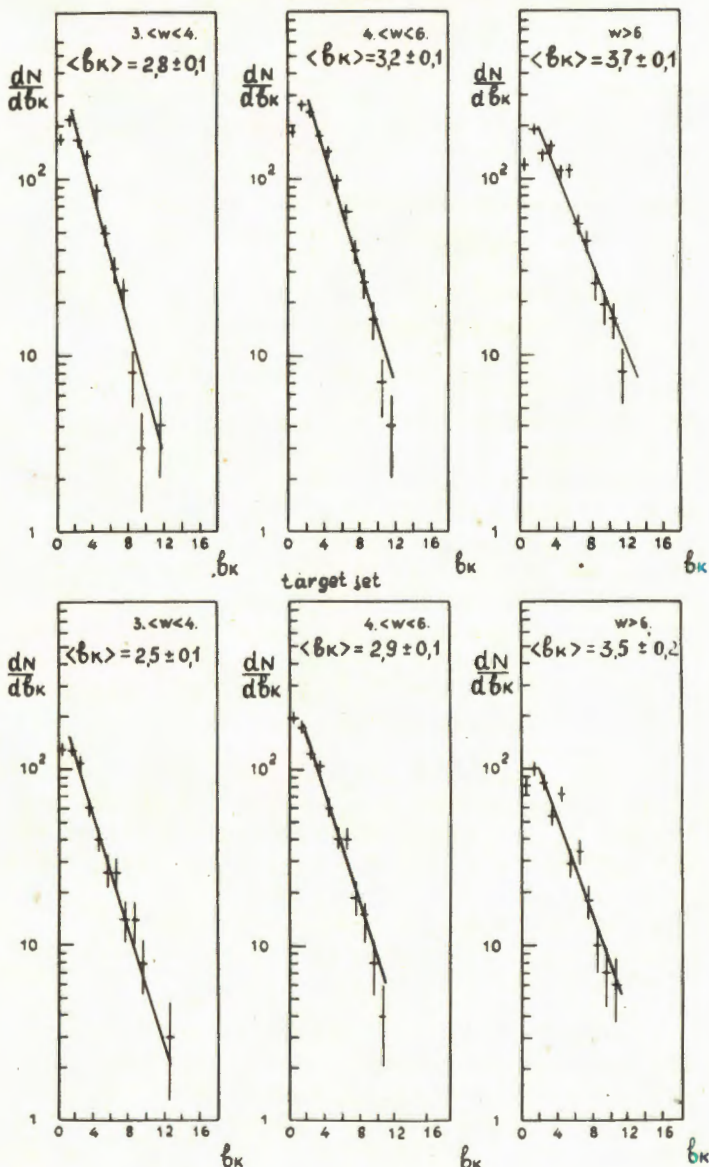


Fig.2. The  $b_k$  distributions of  $\pi^\pm$  mesons in  $\gamma N$  collisions in the fragmentation region of current and target in different  $W$  energy intervals. The solid lines shows the results of approximating data by the exponential dependence.

Table 1

The average  $\langle b_k \rangle$  values and B slope for  $\pi^-$  mesons in  $\bar{\nu}N$  collisions

| W, GeV | Current Fragmentation |             | Target Fragmentation  |             |
|--------|-----------------------|-------------|-----------------------|-------------|
|        | $\langle b_k \rangle$ | B           | $\langle b_k \rangle$ | B           |
| 3÷4    | 2.8 ± 0.1             | 2.5 ± 0.3   | 2.54 ± 0.12           | 2.22 ± 0.26 |
| 4÷6    | 3.22 ± 0.09           | 2.71 ± 0.20 | 2.91 ± 0.13           | 2.58 ± 0.26 |
| ≥ 6    | 3.71 ± 0.12           | 3.52 ± 0.26 | 3.47 ± 0.17           | 3.95 ± 0.66 |

As is seen from the table, the average  $\langle b_k \rangle$  and B values are identical within the experimental errors for the quark and diquark fragmentation at the same W energy and grow with increasing W. In this case the average size of the jet is equal to  $\langle b_k \rangle = 3 \div 4$ . In order to make a more exact comparison with the data on hadron-hadron and hadron-nucleus collisions, the jets in the  $\bar{\nu}N$  collisions were selected by a cut off with respect to the variable  $x$  in just the same way as this was done in soft hadron-hadron and hadron-nucleus collisions. We denote the jet production process in the  $\bar{\nu}N$  collisions as follows:

$$\bar{\nu} + N \rightarrow J_q + J_{qq}, \quad (7)$$

where  $J_q$  is the knocked-out quark jet and  $J_{qq}$  the diquark spectator jet. The particles belonging to one or another jet were selected with the aid of the invariant variables:

$$x_q^k = (P_{qq} \cdot P_k) / (P_q \cdot P_{qq}) \geq 0.1, \quad (8)$$

$$x_{qq}^k = (P_q \cdot P_k) / (P_q \cdot P_{qq}) \geq 0.1, \quad (9)$$

where  $P_q = xP_N + q$ ,  $P_{qq} = (1 - x)P_N$ . Here  $P_N, P_k$  are the four-momenta of a nucleon and a  $k$ -th particle, the indices  $q(qq)$  show that the particle belongs to the jet of either the knocked-out quark or diquark spectator. In addition, in order to separate the hadrons in the jet overlap region, an auxiliary condition was used:  $y_k^* \geq 0$  for the quark fragmentation and  $y_k^* < 0$  for the diquark fragmentation. The  $b_k$  values for  $\pi^-$  mesons thus obtained for the three energy intervals are presented in Table 2. The  $\langle b_k(\pi^-) \rangle$  values for the  $\bar{\nu}N$  interactions are seen to coincide, within one standard deviation, with the  $\langle b_k(\pi^-) \rangle$



Table 2

| Type of collision                     | $P_{lab}, (GeV/c)$<br>$W, GeV$ | Fragmentation region | $\langle b_k'(\pi^-) \rangle^*$ |
|---------------------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| pp                                    | 205( $\sqrt{s}=19.7$ )         | target fragment.     | 4.5 $\pm$ 0.1                   |
| $\pi^-p$                              | 40( $\sqrt{s}=8.7$ )           | beam fragment.       | 4.21 $\pm$ 0.03                 |
| $\pi^-C$                              | 40                             | beam fragment.       | 4.19 $\pm$ 0.04                 |
| $\bar{\nu}N$                          | $\langle W \rangle = 8$        | current fragment.    | 4.12 $\pm$ 0.17                 |
| $\pi^-p$                              | 40( $\sqrt{s}=8.7$ )           | target fragment.     | 4.06 $\pm$ 0.04                 |
| $\pi^-C$                              | 40                             | target fragment.     | 4.36 $\pm$ 0.04                 |
| $\bar{\nu}N$                          | $\langle W \rangle = 8$        | target fragment.     | 4.16 $\pm$ 0.30                 |
| $\bar{p}p$                            | 22.4( $\sqrt{s}=6.6$ )         | target fragment.     | 3.95 $\pm$ 0.03                 |
| $\bar{\nu}N$                          | $\langle W \rangle = 4.9$      | current fragment.    | 3.68 $\pm$ 0.11                 |
| $\bar{\nu}N$                          | $\langle W \rangle = 3.5$      | current fragment.    | 3.17 $\pm$ 0.11                 |
| $\bar{\nu}N$                          | $\langle W \rangle = 4.9$      | target fragment.     | 3.45 $\pm$ 0.19                 |
| p(C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )+pTa | 10                             | target fragment.     | 2.13 $\pm$ 0.04                 |
| $\bar{p}p$                            | 12( $\sqrt{s}=4.9$ )           | target fragment.     | 3.53 $\pm$ 0.01                 |
| $\bar{p}p$                            | 5.7( $\sqrt{s}=3.6$ )          | target fragment.     | 3.21 $\pm$ 0.01                 |
| $\bar{\nu}N$                          | $\langle W \rangle = 3.5$      | target fragment.     | 2.75 $\pm$ 0.15                 |

\* Statistical errors are presented in the Table. The systematic errors that are due to the incorrect identification of positive particles are 5 $\pm$ 10%.

values for the soft jets in hadron-hadron and hadron-nucleus collisions at equal energies  $\sqrt{s} = W$  in the c.m.s.

Figure 3 shows the main results of this analysis: the average  $\langle b_k \rangle$  values  $\bar{p}p$ ,  $\pi^-p$ ,  $\pi^-C$ ,  $pp$ ,  $pC$ ,  $pTa$  and  $\bar{\nu}N$  processes are plotted against the energy  $\sqrt{s} = W$  in the c.m.s. The figure also presents the  $\langle b_k \rangle$  calculations obtained by the LUND model<sup>/5/</sup> for  $\pi^-$  mesons in the beam target fragmentation for 40 and 360 GeV/c ( $\sqrt{s} = 8.7, 26$  GeV)  $\pi^-p$  collisions which satisfactorily describe one-particle distributions in the experimental  $\pi^-p$  data<sup>/6/</sup>. The average  $\langle b_k \rangle$  values are seen to grow with increasing  $\sqrt{s} = W$ , and for  $\sqrt{s} > 6$  GeV ( $b_{J_1 J_2} = -(V_{J_1} - V_{J_2})^2 \geq 10$ ) they reach the asymptotic regime. The average size of the pion jet is  $\langle b_k \rangle = 4$ .

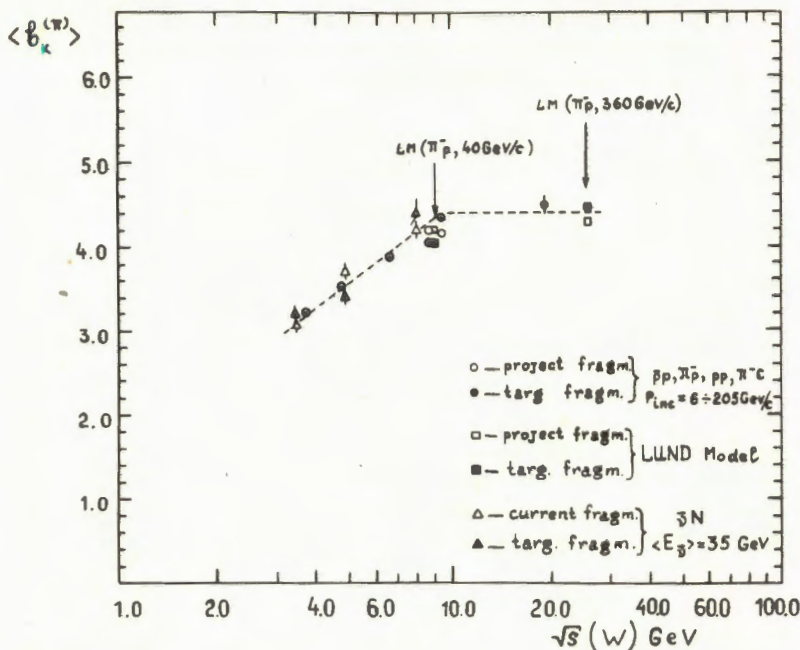


Fig. 3. The dependence of the average  $\langle b_k \rangle$  values of  $\pi^-$  mesons in jets of various processes on  $\sqrt{s} = W$  in the c.m.s.

This analysis has shown that the  $b_k$  distributions of hadrons in the jets have a universal character in both soft and hard particle collisions which is independent of neither the type of a fragmenting system ( $N, \pi^-, \bar{p}, C, q$ ), nor the collision energy for  $P_{lab} \geq 22 \text{ GeV}/c$  ( $\sqrt{s} = W > 6 \text{ GeV}$ ).

Thus, we can conclude that the hadronization of the quarks and diquarks in soft and hard particle interactions in the 4-velocity space is universal, that is independent of neither the origin, nor the properties of the colour quark system. It seems to us that this universality is due to the interaction properties of colour charges with vacuum and means that the colour charge hadronization in vacuum is independent of the production process. The asymptotic regime sets in at  $E_q(E_{qq}) \geq 3 \text{ GeV}$ .

The QCD calculation of these distributions as universal parameters of strong interaction physics is of particular interest.

We are pleased to thank the IHEP, ITEP, FNAL and Michigan State University Collaboration for giving us the permission to use DST on  $\bar{\nu}N$  collisions.

### *References*

1. Baldin A.M., Didenko L.A. In: JINR Rapid Communications, № 3-84, Dubna, 1984, p.5; № 8-85, Dubna, 1985, p.5.
2. Baldin A.M. et al. JINR, P1-85-820, Dubna, 1985.
3. Baldin A.M. et al. In: JINR Rapid Communications, № 16-86, Dubna, 1986, p.24.
4. Berge J.P. et al. Nucl.Phys., 1981, B184, p.13.  
Ammosov V.V. et al. Nucl. Phys., 1982, B203, p.1;  
1982, B203, p.16.
5. Sjostrand T. LUPT 82-3, March, 1982.
6. Higgins P.D. et al. Phys.Rev.D., 1979, v.19, p.65;  
Phys.Rev.D., 1979, v.19, p.731;  
Biswas N.N. et al. Nucl.Phys., 1980, B167, p.41.

Received on January 21, 1987.



УДК 539.172.17

К АНОМАЛЬНОЙ ТРАКТОВКЕ СТОЛКНОВЕНИЙ  $^{40}\text{Ar} + \text{Cu}$   
ПРИ ЭНЕРГИЯХ 0,9 И 1,8 ГэВ НА НУКЛОН

К. Д. Толстов

Обсуждены условия и результаты опытов по неупругим столкновениям ионов  $^{40}\text{Ar}$  с ядрами меди при энергиях 1,8 и 0,9 ГэВ на нуклон  $^{6/}$ . Показана несостоятельность трактовки авторами  $^{6/}$  их опытов на основе концепции аномалонов с временем жизни  $\sim 2 \cdot 10^{-10}$  с и/или "расхождений с известной ядерной физикой". Дано объяснение результатов  $^{6/}$  на основе известных закономерностей.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

About Anomalon Interpretation of  $^{40}\text{Ar} + \text{Cu}$   
Collisions at 0.9 and 1.8 GeV per Nucleon Energies

K.D.Tolstov

The paper  $^{6/}$  concerning the results of inelastic collisions of 1.8 and 0.9 GeV per nucleon  $^{40}\text{Ar}$  with copper is discussed. The authors of  $^{6/}$  explained their experimental results on the basis of anomalons of lifetime  $\tau \approx 2 \cdot 10^{-10}$  s and/or "inconsistency with the known nuclear physics". In the present search it is shown that such conclusions are untenable, and the data of  $^{6/}$  are explained by the known physics.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

В настоящее время по совокупности большинства работ, выполненных с помощью различных методов  $^{1-3/}$ , следует, что концепция аномалонов не находит подтверждений. Первые убедительные данные, показавшие отсутствие аномально больших сечений фрагментов релятивистских ядер, получены в работах  $^{1/}$  с помощью фотоэмульсионной методики, с которой и было в  $^{4,5/}$  заявлено о наличии аномальных эффектов. Однако в опытах по взаимодействию ионов  $^{40}\text{Ar}$  с ядрами меди при энергиях 0,9 и 1,8 ГэВ на нуклон  $^{6/}$  результаты трактуются на основе концепции аномалонов. Эти работы выполнены методом радиационной спектроскопии, что, по нашему мнению, представляет менее адекватный су-

шеству вопроса способ. Действительно, в использованной в<sup>6/</sup> методике активность детектора возникает при взаимодействии первичных ядер, их фрагментов и всей суммы генерированных в столкновениях с мишенями частиц. Следовательно, неоднозначна задача выделения взаимодействий только фрагментов первичных ядер и тем более - дискриминация их по сечениям или временам жизни.

Изложим и затем разберем методику и выводы работы<sup>6/</sup>, в которой ионами облучались медные диски диаметром 8 см и толщиной 1 см.

Расположенный ближе к пучку диск именовался мишенью, а следующий - детектором, который устанавливался вплотную к мишени или на расстояниях 10 и 20 см от нее /см. рис. 1 из работы<sup>6/</sup>/. Активности, наведенные в мишени и детекторе, исследовались с помощью  $\gamma$ -спектроскопии. Результаты опытов приведены на рис. 2 и 3 из<sup>6/</sup> в виде отношений активности в детекторе к активности мишени при  $d = 0$ ,  $R_0$ ,  $d = 10$  см,  $R_{10}$   $d = 20$  см  $R_{20}$  для двух значений энергии пучка  $^{40}\text{Ar}$ . Приведем дословно основные выводы работы<sup>6/</sup>:

"Наши результаты могут быть объяснены одним из двух не самосогласованных эффектов или их комбинацией.

Первое. Мы постулируем образование нового, необычного, короткоживущего фрагмента высокой энергии, когда энергия пучка возрастает от 0,9 А ГэВ до 1,8 А ГэВ. Если мы примем, что уменьшение  $R$  для 1,8 А ГэВ связано только с распадом аномальных фрагментов  $/Z > 3/$ , то это указывает на время их жизни  $\sim 2 \cdot 10^{-10}$  с.

Второе. Мы постулируем испускание вторичных частиц высокой энергии с неожиданно широким угловым распределением, т.е. с большими поперечными импульсами - процесс, который не согласуется с известной ядерной физикой."

В действительности, на рис. 2 из<sup>6/</sup> трудно усмотреть различие в величинах  $R_0$  и  $R_{20}$ , когда энергия пучка увеличивается от 0,9 А до 1,8 А ГэВ. Более того, ранее в<sup>6/</sup> отмечалось: "Для 1,8 А ГэВ  $^{40}\text{Ar}$ , зависимость  $R_0$  от  $A$  для  $A > 40$  подобна зависимости при 0,9 А ГэВ исключая сдвиг к несколько меньшей величине  $/A \sim 50/$ . Значение  $R_{20}$  для  $A > 40$  также подобно величине, полученной при 0,9 А ГэВ. Однако для  $A < 30$  значение  $R_0$  изменяется от 1,2 до 1,6". Последнее изменение, по нашему мнению, связано с увеличением выхода ядер с малыми "А" при увеличении энергии пучка.

Фактором, определяющим цитированные основные выводы<sup>6/</sup>, является уменьшение  $R$  при переходе от  $d = 0$  к  $d = 20$  см, что имеет место для обоих значений энергии  $^{40}\text{Ar}$ . В области значений  $A = 40 \div 60$  /рис. 1/ эта величина  $R$  изменяется от 2,0 до 1,2. Основной упор делается на изменение  $R$  для ядер  $^{24}\text{Na}$  и  $^{28}\text{Mg}$ , показанное на рис. 2.



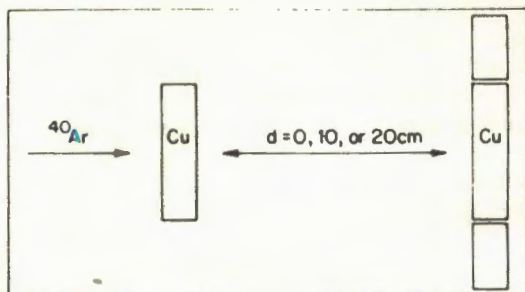


Рис. 1.

Объяснение этим результатам будем искать, исходя из взаимодействий первичных ядер  $^{40}\text{Ar}$ , фрагментов пучка, фрагментов ядер  $\text{Cu}$  и генерированных пионов в зависимости от геометрических условий опыта, т.е. при  $d = 0, 10$  и  $20 \text{ см}$ . Рассмотрим проведение для

энергии  $1,8 \text{ ГэВ}$ , при которой в <sup>/6/</sup> эффекты более выражены.

1. Очевидно, что активность мишени, вызываемая первичным пучком  $^{40}\text{Ar}$ , не зависит от  $d$ . Далее можно принять, что отражение вторичных частиц от детектора к мишени мало, следовательно, суммарная активность мишени  $E_M$  не зависит от  $d$ . Обозначим активность мишени за счет первичного пучка через  $a$ ; активность, вызываемую фрагментами пучка, -  $b$ , активность при взаимодействии фрагментов мишени и генерированных пионов, -  $c$ .

$$E_M = a + b + c.$$

В соответствии с <sup>/7/</sup> сечение неупругого взаимодействия ионов  $^{40}\text{Ar}$  с  $\text{Cu}$  равно  $\sigma = 2,65 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ , средний пробег в  $\lambda = 4,5 \text{ см}$ ; следовательно, на толщине меди  $1 \text{ см}$  ослабление первичного пучка составляет  $0,2$ .

2. Активность детектора при  $d = 0$ , очевидно, складывается из активности, создаваемой пучком  $^{40}\text{Ar}$  с интенсивностью  $0,8$  от первичной, плюс активности от фрагментов пучка, мишени и пионов, попадающих из нее на детектор. Пробег этих частиц в детекторе вдвое больше их пробега в мишени, т.к. они попа-

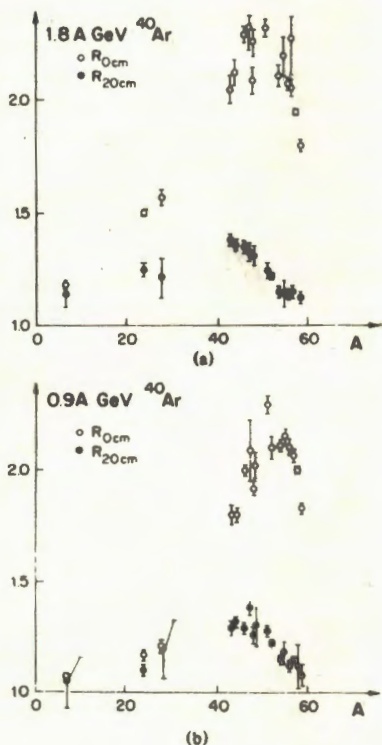


Рис. 2.



дают на детектор в готовом виде, а не возникают по всей толщине мишени. Следовательно, активность детектора за счет фрагментов пучка:  $b_0 = 2b$ , а за счет фрагментов мишени и пионов:  $c_0 = 2c$ . Суммарная активность детектора при  $d = 0$  равна:

$$E_0 = 0,8a + 2,8(b + c).$$

3. Активность детектора при  $d = 10$  и  $20$  см за счет первичного пучка, очевидно, одинакова со случаем  $d = 0$ , т.е. равна:  $0,8/a + b + c$ . Активность за счет фрагментов спектаторов -  $b_c$  также равна ее значению при  $d = 0$ , т.е.  $b_{10} = b_{20} = 2b_c$ , т.к. фрагменты, не испытывавшие взаимодействия, вылетают с малым отклонением от направления первичного пучка, и все попадают на детектор. Активность от нуклонов снаряда, испытывавших неупругие столкновения,  $b_n$  и  $b = b_c + b_n$ . Можно принять, что число нуклонов-спектаторов и нуклонов, испытывавших неупругие столкновения, - одинаково, а именно по 20. Это соответствует фрагментации ядер  $^{12}\text{C}$  и  $^{22}\text{Ne}$  на ядрах фотоэмульсии <sup>/8/</sup>, имеющих средний атомный вес  $\sim 60$ , т.е. близкий к  $\text{Cu}$ . Далее примем, что средний атомный вес фрагментов-спектаторов - 4 /проводимый ниже расчет не критичен по отношению к этим предположениям, как показано в табл. 2 и 3/. Средний пробег этих фрагментов в меди  $\langle \lambda \rangle = 9$  см, и вероятность их взаимодействия в меди на среднем пути  $0,5$  см равна  $0,056$ , следовательно,  $b_c = 0,2 \cdot 5 \cdot 0,056 = 0,06$ .

Нуклоны снаряда, испытывавшие неупругие столкновения, имеют  $\langle \lambda \rangle = 18$  см, откуда  $b_n = 0,2 \cdot 20 \cdot 0,5 \cdot 18^{-1} = 0,11$

$$b = b_c + b_n = 0,17.$$

Коэффициент " $c$ ", равный  $c = c_\pi + c_{\text{фр.м.}}$ , рассчитаем, используя для  $c_\pi$  данные по  $\text{pp}$ -столкновениям при  $2$  ГэВ <sup>/9/</sup>, по которым  $\langle n_{\pi^\pm} \rangle = 0,5$ . Средний путь в мишени с учетом углового распределения пионов  $\sim 0,6$  см, а  $\langle \lambda_\pi \rangle = 24$  см, откуда  $c_\pi = 0,2 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 0,6 \cdot 24^{-1} = 0,05$ .

На основании работ <sup>/10/</sup> быстрые фрагменты мишени - нуклоны имеют энергию до  $500$  МэВ и  $\langle E \rangle = 150$  МэВ, т.е. достаточную для создания остаточных ядер с  $\langle A \rangle \lesssim 30$ . Доля этих нуклонов составляет  $2/3$  и растет с ростом массы снаряда. В <sup>/8/</sup> число фрагментов мишени принимается за 17. В соответствии с этими данными за оценку числа фрагментов мишени с энергией больше  $\langle E \rangle$  примем 4. Согласно <sup>/11/</sup>, из углового распределения получим средний путь нуклонов в мишени  $\sim 1$  см, а  $c = 18$  см.

Следовательно,  $c_{\text{фр.м.}} = 0,2 \cdot 4 \cdot 18^{-1} = 0,05$  и  $c = 0,1$ . Для дальнейших расчетов необходимы вероятности  $\omega$  попада-

ния взаимодействия нуклонов снаряда, пионов и фрагментов мишени на детектор при  $d = 10$  и  $20$  см. Оценивая эти вероятности на основе работ <sup>/11,12/</sup>, выполненных при энергии ядер  $^{22}\text{Ne}$ ,  $3,6$  ГэВ на нуклон, что уменьшает углы вылета частиц, мы, очевидно, занижаем рассчитываемый эффект.

Вероятности образования изотопов с  $\langle A \rangle \sim 50$  и  $\langle A \rangle \sim 25$  рассчитаем по отношению к фрагментам снаряда, принимая для них вероятность равной 1. Далее используем рис. 3 из <sup>/13/</sup>, который показывает для меди одинаковую зависимость от энергии относительных сечений  $\sigma^{24}\text{Na}/\sigma^{60}\text{Co}$  для  $\pi^-$ ,  $p$ ,  $^{12}\text{C}$  и  $^{40}\text{Ar}$ ; рис. 10 из <sup>/14/</sup> - выхода изотопов по массам для тех же снарядов в зависимости от энергии. Рис. 5 из <sup>/15/</sup> дает зависимость сечений как функцию массы изотопов для взаимодействия с  $\text{Cu}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{12}\text{C}$  и протонов.

В табл. 1 приведены использованные для расчетов параметры и наибольшие значения  $p\sigma\omega$ , т.е. вклад в активность детектора дают нуклоны снаряда, испытавшие неупругие столкновения. Активность детектора на расстоянии  $d$  равна:

$$E_d = 0,8(a + b + c) + 2b_c + 2\omega_n \cdot b_n + 2(\omega_\pi c_\pi + \omega_{\text{фр.м}} \cdot c_{\text{фр.м}})$$

/вероятность попадания на детектор фрагментов снаряда - 1/. По этой формуле с использованием параметров, которые обсуждены ранее /см. табл. 1/, были рассчитаны величины

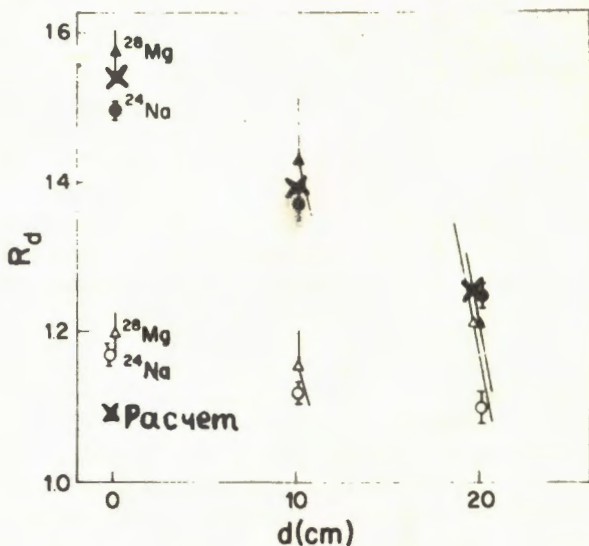


Рис. 3.

Таблица 1

| Тип частиц                                                     | число<br>n | относительные сечения<br>$\sigma$ | вероятность<br>попадания на<br>детектор $\omega$ |                             |        |        | по $\omega$                 |           |
|----------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|--------|--------|-----------------------------|-----------|
|                                                                |            |                                   | $\langle A \rangle \sim 50$                      | $\langle A \rangle \sim 25$ | $d=10$ | $d=20$ | $\langle A \rangle \sim 25$ |           |
|                                                                |            |                                   |                                                  |                             |        |        | $d=10$                      | $d=20$    |
| фрагменты $^{40}\text{Ar}$<br>$A = 4$                          | 5          | 1                                 | 1                                                |                             | 1      | 1      | 5                           | 5         |
| нуклоны из $^{40}\text{Ar}$ ,<br>испытывавшие<br>взаимодейств. | 20         | 1                                 | 0,5                                              |                             | 0,73   | 0,42   | 14,6                        | 8,4       |
|                                                                |            |                                   |                                                  |                             |        |        | 7,3 и 4,9                   | 4,2 и 2,8 |
| пионы                                                          | 10         | 1                                 | 0,3                                              |                             | 0,3    | 0,11   | 3                           | 1         |
|                                                                |            |                                   |                                                  |                             |        |        | 0,9 и 0,6                   | 0,3 и 0,2 |
| быстрые фраг-<br>менты мишени                                  | 4          | 1                                 | 0,1                                              |                             | 0,2    | 0,05   | 0,8                         | 0,2       |
|                                                                |            |                                   |                                                  |                             |        |        | 0,1                         | 0,2       |



Е и R. Они приведены в первых строках таблиц 2 и 3, в которых даны результаты и при других значениях параметров.

Таблица 2

|    | $b_c$ | $b_H$ | $c$  | $E_M$ | $E_o$ | $E_{20}$ | $R_o$ | $R_{20}$ |
|----|-------|-------|------|-------|-------|----------|-------|----------|
|    | 0,06  | 0,1   | 0,1  | 0,47  | 0,92  | 0,56     | 1,95  | 1,19     |
|    | "     | 0,04  | "    | 0,40  | 0,72  | 0,45     | 1,80  | 1,13     |
|    | "     | "     | 0    | 0,30  | 0,44  | 0,39     | 1,47  | 1,30     |
| 1/ | 0,08  | 0,06  | 0,08 | 0,42  | 0,96  | 0,57     | 2,29  | 1,36     |
| 2/ | 0,03  | 0,17  | 0,13 | 0,53  | 1,32  | 0,62     | 2,49  | 1,19     |

опытные значения  $R_{-2,0} \sim 1,2$

### Таблица 3

|    | $b_c$                      | $b_H$ | $c_\pi$ | $c_{фр.м}$ | $E_M$            | $E_0$ | $E_{10}$ | $E_{20}$       | $R_0$ | $R_{10}$ | $R_{20}$ |
|----|----------------------------|-------|---------|------------|------------------|-------|----------|----------------|-------|----------|----------|
|    | 0,06                       | 0,06  | 0,015   | 0,01       | 0,34             | 0,57  | 0,50     | 0,45           | 1,67  | 1,47     | 1,32     |
|    | "                          | 0,04  | 0,01    | 0,01       | 0,32             | 0,50  | 0,45     | 0,40           | 1,56  | 1,40     | 1,26     |
|    | "                          | "     | 0       | 0          | 0,30             | 0,44  | 0,42     | 0,38           | 1,47  | 1,43     | 1,27     |
| 1/ | 0,08                       | 0,03  | 0,01    | 0,005      | 0,33             | 0,61  | 0,47     | 0,45           | 1,85  | 1,42     | 1,36     |
| 2/ | 0,03                       | 0,08  | 0,03    | 0,005      | 0,34             | 0,63  | 0,45     | 0,38           | 1,85  | 1,32     | 1,12     |
|    |                            |       |         |            | опытные значения |       | R        |                | 1,55  | 1,38     | 1,24     |
| 1/ | Нуклонов снаряда: зрителей |       |         |            |                  | -     | 30       | неупруг.взаим. |       | -        | 10       |
| 2/ | "                          |       |         |            |                  | -     | 10       | "              |       | -        | 30       |

Как следует из таблиц, расчеты хорошо воспроизводят опытные данные работы <sup>16/</sup>. Это иллюстрирует и рис.3 из <sup>6/</sup>, на котором нанесены значения из 2-й строки табл. 1.

Проведенный расчет для  $\langle A \rangle \sim 50$  качественно справедлив и для энергии  $^{40}\text{Ar}$  0,9 ГэВ на нуклон, т.к. энергия возбуждения достаточна для вылета  $15 \div 20$  нуклонов из ядра  $^{64}\text{Cu}$ , а согласно рис. 2, переход от 1,8 к 0,9 ГэВ практически не изменяет величины  $R_0$  и  $R_{20}$ .

Для  $\langle A \rangle \sim 25$  ситуация существенно меняется, т.к. очевидно, что для потери большого числа нуклонов необходимо большое возбуждение ядра  $\text{Cu}$ . Величины  $b_n$ ,  $c_p$ ,  $c_{\text{фр.м}}$  в табл. 1 при энергии 0,9 ГэВ существенно уменьшатся, и соответственно уменьшатся величины  $R$ . Для численных расчетов

нет данных, а опытные значения  $R_0$  и  $R_d$  в работе <sup>/6/</sup> существенно меньше, чем для энергии 1,8 А ГэВ.

Таким образом, результаты опытов находят естественное объяснение в рамках известных взаимодействий, не требуют привлечения концепции аномалонов и не указывают на расхождение с "известной ядерной физикой", как это трактуется в выводах <sup>/6/</sup>.

### *Литература*

1. Холынски Р. Сотрудничество: Алма-Ата, Бухарест, Дубна, Душанбе, Ереван, Кошице, Краков, Ленинград, Москва, Ташкент, Тбилиси, Улан-Батор. Материалы 18 международной конференции по космическим лучам, Бангалор, Индия, 1983, т.7, с.44; Банник Б.П. и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 184.  
Bannik B.P. et al. Zeit.für Phys. A, 1985, 321, 249;
2. Stevenson J.D. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, 515; Symons T.J. et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, 982.
3. Ticknell M.L. et al. 7 th Workshop on High Energy Ions Study, 1984, 551; Heinrich et al. Phys.Rev.Lett., 1984, 52, 1401; Drechsel H. et al. Phys.Rev.Lett., 1985, 54, 30.
4. Friedlander E. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 45, 1084; Phys.Rev.C, 1983, 27, 1489.
5. Jain P.L., Das G. Phys.Rev.Lett., 1982, 48, 305.
6. Dersch G., Beckman R. et al. Phys.Rev.Lett., 1985, 55, 1176.
7. Jacobson B., Kulberg R. Phys.Scr., 1976, 13, 327.
8. Марин А. и др. ЯФ, 1980, 32, 1387; Андреева Н.П. и др. Сообщение ОИЯИ Р1-85-692, Дубна, 1985.
9. Бешлиу К. и др. ЯФ, 1986, 43, 888.
10. Богданов В.Г. и др. ЯФ, 1983, 38, 1493.
11. Андреева Н.П. и др. Сообщение ОИЯИ, Р1-86-8, Дубна, 1986.
12. Лескин В.А., Толстов К.Д. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №17-86, 1986, с.5.
13. Hausteин P.E. Phys.Rev.C, 1979, 20, 1092.
14. Hausteин P.E., Ruth T.J. Phys.Rev.C, 1978, 18, 2241.
15. Cumming J.B. et al. Phys.Rev., 1978, C17, 1632.

Рукопись поступила 22 декабря 1986 года.

УДК 539.12.01

КВАНТОВОХРОМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОРОЖДЕНИЯ ПИОНОВ НА НУКЛОНЕ  
И СТРУКТУРНЫХ ФУНКЦИЙ НУКЛОНОВ

Ф.С.Садыхов\*

Изучается процесс глубоконеупругого рассеяния заряженного лептона на нуклоне с рождением пионов и структурные функции нуклонов в КХД.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

Quantum Chromodynamic Investigation  
of the Pion Electroproduction on the Nucleon  
and the Nucleon Structure Functions

F.S.Sadykhov\*

The deep-inelastic scattering process of the charged lepton on the nucleon with the pion production and the nucleon structure functions in QCD are studied.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

Известно, что КХД удовлетворительно описывает кварк-глюонные взаимодействия в процессах глубоконеупругого лептон-адронного рассеяния в электрон-позитронных аннигиляциях. Анализ графиков теории возмущений в КХД показывает, что сечения этих процессов непосредственно выражаются через импульсное распределение кварков и глюонов в адронах. Как следует из тщательного анализа, во всей области по долям импульса  $x$  в процессе распространения в глюонном поле поляризованного адрона кварк приобретает эффективную массу порядка массы адрона и дополнительную разность фаз, при этом спинные эффекты оказываются существенными, что определяется кварк-глюонной корреляцией в поляризованном адроне <sup>1/</sup>. В широком интервале передаваемого импульса и параметра  $x$  структурные функции адронов определяются взаимодействием кварков с вакуумными флуктуациями, где двух- и трехглюонный обмен также существен <sup>2,3/</sup>.

---

\* Азербайджанский государственный университет им.С.М.Кирова, Баку.



В данной работе изучается процесс глубоконеупругого рассеяния заряженного лептона на нуклоне с рождением пионов и поведение структурных функций нуклонов в КХД с учетом двух- и трехглюонных вершин.

На основе общих квантовохромодинамических диаграмм рассматриваемого процесса для сечения находим:

$$\frac{d^2\sigma}{dQ^2 dx_B} = \frac{\pi a^2}{Q^4} (1 + \xi_1 \xi_2) [(1 - y)^2 + 1] \times \\ \times \sum_q \left(\frac{e_q}{e}\right)^2 \int_{x_B}^1 f_N^d(x, Q^2) \left[ \delta(x - x_B) + \frac{G_S(Q^2)}{x} \right] dx. \quad /1/$$

Здесь

$$G_S(Q^2) = \frac{192}{\pi^2 \beta_2^2} \ln^2 \frac{a_S(\mu^2)}{a_S(Q^2)} \left[ 1 + \frac{316}{3\pi^2 \beta_2^2} \ln^2 \frac{a_S(\mu^2)}{a_S(Q^2)} \right], \quad /2/$$

где  $\xi_1$  и  $\xi_2$  - спиральности лептона до и после рассеяния,  $y$  - быстрота,  $f_N^q(x, Q^2)$  - функция распределения,  $q_\perp^2$  - квадрат поперечного импульса частицы,  $\beta_2 = \frac{11}{3}N - \frac{2}{3}n_f = 9$  /до порога рождения шарма/,  $\mu^2 \approx 0,1 \text{ ГэВ}^2$ . Используя соотношения Каллана-Гросса для структурной функции нуклона, получим:

$$F_2(x_B, Q^2) = x_B \sum_q \left(\frac{e_q}{e}\right)^2 \int_{x_B}^1 \left[ \delta(x - x_B) + \frac{G_S(Q^2)}{x} \right] f_N^q(x, Q^2) dx. \quad /3/$$

Из работы /4,5/ функции распределения валентных  $U_V$ ,  $d_V$  и морских  $S$ -кварков можно выбрать в виде:

$$U_V(x, Q^2) = 1,78(1 - x)^3(1 + 2,3ax)/\sqrt{x},$$

$$d_V(x, Q^2) = 0,993(1 - x)^4(1 - \beta x)/\sqrt{x},$$

$$S(x) = 0,11(1 - x)^7/x, \quad /4/$$

$$\alpha = 1 - \ln \frac{a_S(Q_0^2)}{a_S(Q^2)}, \quad \beta = 0,5 \ln \frac{a_S(Q_0^2)}{a_S(Q^2)}, \quad Q_0^2 \approx 4 \text{ ГэВ}^2.$$

Тогда для фармфакторов протона и нейтрона имеем:

$$F_{2p} = \frac{x_B}{9} [4U_V + d_V + 12s + G_S(Q^2)(4I_u + I_d + 12I_s)], \quad /5/$$

$$F_{2n} = \frac{x_B}{9} [4d_V + U_V + 12s + G_S(Q^2)(4I_d + I_u + 12I_s)], \quad /6/$$

где

$$I_q = \int_{x_B}^1 \frac{q_i(x, Q^2)}{x\sqrt{x}} dx. \quad /7/$$

В формулах /5/ и /6/ член  $\sim G_S(Q^2)$  обусловлен кварк-глюонным взаимодействием. Как следует из полученных формул, при малых значениях  $x_B$  значительный вклад в сечение дают диаграммы высших порядков /член  $\sim G_S(Q^2)$  / по  $a_s$ . Причем вклад этих диаграмм увеличивается с ростом  $Q^2$ . При увеличении  $x_B$  вклад диаграмм высшего порядка уменьшается, и определяющую роль начинает играть зависимость от  $Q^2$  функций распределения.

На рис. 1 изображена зависимость формфактора протона от передаваемого импульса при малых и больших значениях долей импульса  $x$ . Эта зависимость сравнивается с экспериментальными данными /6-8/. Видно, что полученная структурная функция протона при определенных значениях кинетических переменных удовлетворительно согласуется с опытными данными.

Сравнение  $x_B$ -зависимости отношения структурных функций нейтрона и протона с экспериментальными данными приведено на рис. 2. Как видно из этого рисунка, рассчитанное отношение структурных функций нуклонов при значениях  $E_e \approx 5.20$  ГэВ и  $Q^2 \approx 1.16$  ГэВ<sup>2</sup> хорошо описывает опытные данные /9, 10/.

Известно, что инклюзивное распределение адронов  $\frac{1}{\sigma} \left( \frac{d\sigma^{\pi^+}}{dz} + \frac{d\sigma^{\pi^-}}{dz} \right)$ , характеризующее суммарное число заряженных адронов, рожденных в реакции, при этом не указывает на различия в механизме рождения положительно и отрицательно заряженных адронов. На основе полученных формул для инклюзивного распределения адронов получается:

$$\frac{1}{\sigma} \left( \frac{d\sigma^{\pi^+}}{dz} + \frac{d\sigma^{\pi^-}}{dz} \right) = D_u^+ + D_u^- + G_S(Q^2)(I_u^+ + I_u^-); \quad /8/$$

здесь  $D_u^+$  и  $D_u^-$  - функции фрагментации, которые, исходя из работы /10, 11/, можно представить в виде:

$$D_u^+ = 5.90 \exp(-5.05x), \quad D_u^- = 5.76 \exp(-6.85x). \quad /9/$$

На рис. 3 представлено поведение инклюзивного распределения адронов в зависимости от доли энергии  $z$ . Как видно из рис. 3, инклюзивное распределение с ростом  $z$  уменьшается, что соответствует экспериментальным значениям данного распределения /12-14/.

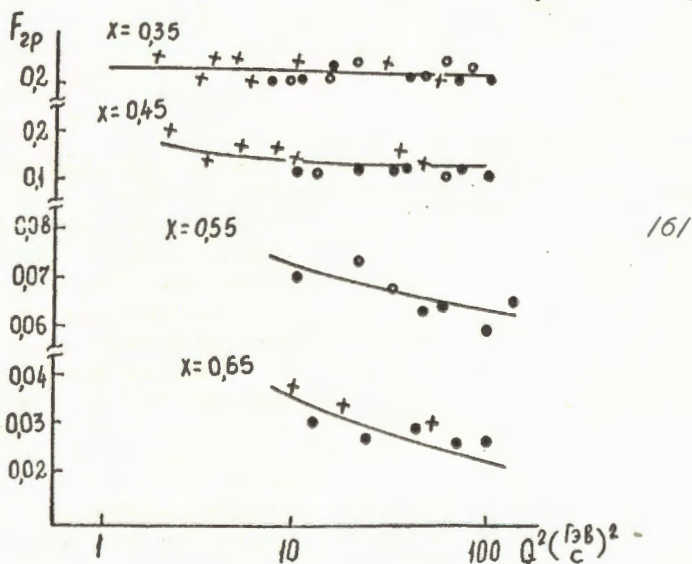
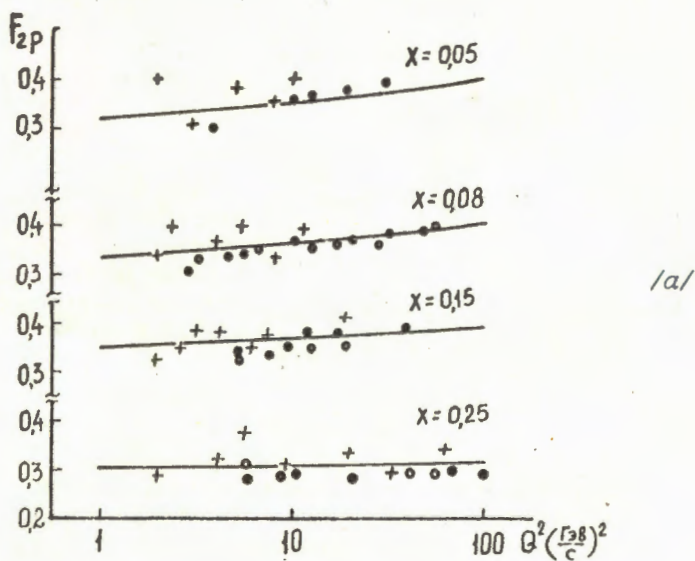


Рис. 1. Сравнение  $Q^2$ -зависимости рассчитанной структурной функции протона  $F_{2p}(x, Q^2)$  с экспериментальными данными: а - при малых значениях  $x$ , б - при больших значениях  $x$ ,  $\times$  - соответствует данным /6/,  $\circ$  - данным /7/,  $\bullet$  - данным /8/.



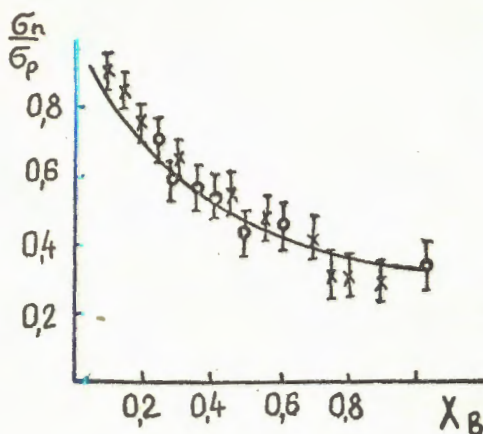


Рис. 2.  $x_B$ -зависимость  $F_{2n}/F_{2p}$ :  $\circ$  - данные /9/,  $\times$  - данные /10/.

Для отношения сечения электророждения положительных и отрицательных пионов соответственно на протоне и нейтроне имеем:

$$R_p = \frac{4\eta U_V + d_V + s(5\eta + 7)}{4U_V + \eta d_V + s(5\eta + 7)}, \quad /10/$$

$$R_n = \frac{4\eta d_V + U_V + s(5\eta + 7)}{4d_V + \eta U_V + s(5\eta + 7)}, \quad /11/$$

где  $\eta = D_u^+ / D_u^-$ .

Зависимость отношения /10/ и /11/ от доли импульсов  $x_B$  приведена на рис. 4. Видно, что для значения  $0,1 \leq x_B \leq 0,7$

теоретические результаты при определенном выборе параметров относительно неплохо согласуются с опытными данными.

Таким образом, при определенном выборе кинематических переменных квантово-хромодинамическое исследование обеспечивает хорошее полуколичественное, а во многих случаях количествен-

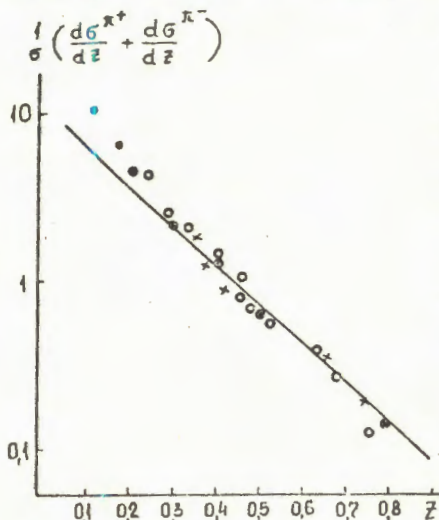


Рис. 3. Зависимость инклюзивного распределения адронов от  $z$ :  $\times$  - данные /12/,  $\circ$  - данные /13/,  $\bullet$  - данные /14/.

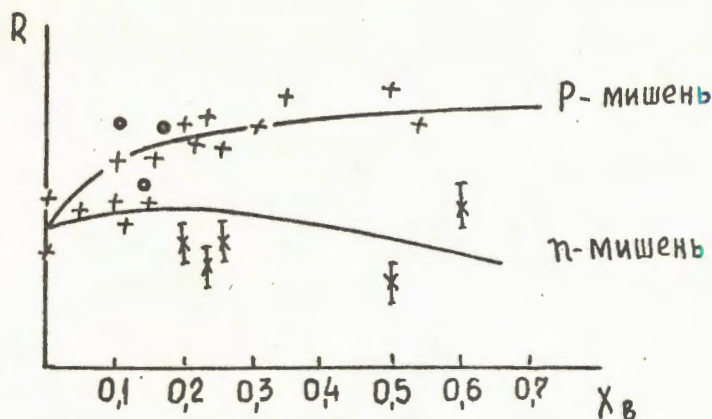


Рис. 4. Поведение  $R_p$  и  $R_n$  в зависимости от  $x_B$ :  
 $\times$  - данные /11/,  $\bullet$  - данные /15/.

ное объяснение характерных особенностей поведения структурных функций нуклонов и сечения процесса электророжде-  
 ния пионов на нуклоне в области высоких энергий.

#### Литература

1. Ефремов А.В., Теряев О.В. ЯФ, 1984, т.39, с.1517.
2. Садыхов Ф.С., Петросян К.А. Высокоэнергетические процессы и физика молекул. Тем.сб.АГУ, Баку, 1984, с.142.
3. Садыхов Ф.С. Множественное рождение и структура молекул. Тем.сб.АГУ, Баку, 1985, с.18.
4. Ratcliffe P. Nucl.Phys., 1983, B223, No.1, 45.
5. Duke D.W., Owens J.F. Phys.Rev., 1984, D30, No.1, 49.
6. Gordon B.A. et al. Phys., 1979, D20, 2645.
7. Aubert J.J. et al. Phys.Lett., 1981, 105B, 315.
8. Clark A.R. et al. Phys.Rev.Lett., 1983, No.20, 1826.
9. Bodek A. et al. Phys.Rev., 1979, D20, No.71, 471.
10. Poucher J.S. et al. Phys.Rev.Lett., 1974, Vol.32, No.3, 118.
11. Bebek C.J. et al. Phys.Rev., 1977, D16, No.7, 1986.
12. Drews G. et al. Phys.Lett., 1978, 41, No.21, 1433.
13. Aubert J.J. et al. Phys.Lett., 1982, 114B, No.5, 373.
14. Arvidson A. et al. Nucl.Phys., 1984, B246, 381.
15. Loomies W.A. et al. Phys.Rev., 1979, D19, No.9, 2543.

Рукопись поступила 19 января 1987 года.

УДК 539.125.5 + 539.12.12

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА НЕЙТРОНА  
ПРИ ПОМОЩИ УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВЮ.В.Борисов\*, Н.В.Боровикова\*, А.В.Васильев\*,  
Л.А.Григорьева\*, С.Н.Иванов\*, Н.Т.Кашукеев\*\*,  
В.В.Несвижевский\*, А.П.Серебров\*, П.С.Яйджиев

Сообщается об эксперименте, выполненном совместно ОИЯИ-ЛИЯФ на реакторе ВВР-М. Впервые для измерения электрического заряда нейтрона были использованы УХН. С этой целью создана оригинальная нейтронно-оптическая установка, в которой измеряется величина смещения пучка УХН под действием электрического поля. В установке использован дифференциальный метод измерений, обеспечивающий контроль систематических эффектов. Пробная серия измерений, проведенная в течение трех суток набора статистики, позволила получить результат для  $q_n = /4,3+7,1/. 10^{20} q_e$ .

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Investigation of the Possibility of Neutron  
Electric Charge Measurement by Means  
of Ultracold Neutrons

Yu.V.Borisov et al.

The experiment in collaboration between JINR and Leningrad Nuclear Physics Institut at the nuclear reactor WWP-M is reported. Measurement of the neutron electric charge for the first time by means of ultracold neutrons is described. For this purpose a new experimental device to measure the shift of the neutron beam affected by the electric field has been designed. The differential method of the measurement used in the set-up provides the check of a number of systematic effects. The trial measurement run, carried out during 3 days permitted to obtain for  $q_n = (4.3+7.1) \cdot 10^{-20} q_e$ .

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

\* Ленинградский институт ядерной физики АН СССР

\*\* Институт ядерных исследований и ядерной энергетики



Возможность существования у нейтрона электрического заряда рассматривалась в работах <sup>/1-4/</sup>. В некоторых работах <sup>/3,4/</sup> указывались конкретные величины  $10^{-18}$  и  $10^{-19} q_e$ , где  $q_e$  - заряд электрона. К настоящему моменту осуществлено несколько прямых нейтронно-оптических экспериментов, измеряющих величину отклонения нейтронного пучка в электрическом поле <sup>/5-7/</sup>. Поскольку чувствительность такого эксперимента сильно зависит от времени прохождения нейтрона через электрическое поле, переход к нейтронам с низкими энергиями дает ощутимый выигрыш. Измеряя заряд при помощи двойного кристаллического спектрометра на тепловых нейтронах ( $\lambda = 2,4 \text{ \AA}$ ,  $v = 1820 \text{ м/с}$ ), авторы работы <sup>/6/</sup> получили результат  $q_n = (-1,9 \pm 3,7) \cdot 10^{-18} q_e$ . Используя линзу для фокусировки холодных нейтронов ( $\lambda = 20 \text{ \AA}$ ,  $v = 200 \text{ м/с}$ ), в Гренобле /Франция/ <sup>/7/</sup> получили  $q_n = (1,5 \pm 1,4) \cdot 10^{-20} q_e$ . В этих опытах одномерное нейтронно-оптическое изображение получалось при помощи элементов, пропускание которых зависело от длины волны нейтронов  $\lambda$  /монокристалл, линза/. Кроме того, применялась однощелевая система регистрации.

Ниже описан результат эксперимента, в котором впервые для фокусировки ультрахолодных нейтронов ( $v \leq 7 \text{ м/с}$ ,  $\lambda \geq 600 \text{ \AA}$ ) применялись вертикальное цилиндрическое зеркало и многощелевая дифференциальная система.

Принцип работы установки был продемонстрирован <sup>/8/</sup> на жидководородном источнике ультрахолодных нейтронов на реакторе ВВР-М в ЛЯФ. Недавний ввод в строй нового, высокоинтенсивного источника <sup>/9/</sup> ультрахолодных нейтронов /УХН/ в ЛЯФ дал возможность продемонстрировать работу нового варианта установки и произвести первые измерения электрического заряда нейтрона с УХН. Подробное описание установки опубликовано в работе <sup>/11/</sup>.

Схема установки показана на рис. 1. Оптическая часть состоит из двух плоскопараллельных зеркал размерами  $1055 \times 100 \times 12 \text{ мм}$ , вертикального цилиндрического

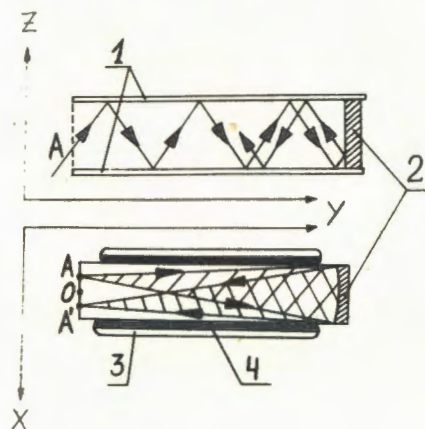


Рис. 1. Принцип действия и схема установки: 1 - горизонтальные плоские зеркала, 2 - вертикальное цилиндрическое зеркало, 3 - электроды для высокого напряжения из нержавеющей стали, 4 - титановые вкладки.

кого зеркала с радиусом кривизны 1044 мм, входной и выходной решеток. На плоскопараллельные зеркала напылен слой ВеО толщиной 2000 Å с граничной скоростью для нейтронов около 7 м/с. На цилиндрическое зеркало напылен слой  $^{58}\text{Ni}$  - Мо толщиной 2000 Å с граничной скоростью около 8 м/с. Высота цилиндрического зеркала равна расстоянию между горизонтальными зеркалами - 50 мм. Входная решетка состоит из двадцати щелей  $0,7 \times 50$  мм, а размер выходных щелей -  $0,7 \times 25$  мм, выходная решетка разделена по вертикали на две части. Нейтрон, прошедший через входную решетку в точке А, отражается от горизонтальных зеркал, от цилиндрического зеркала, и попадает на выходную решетку в точку А'. Таким образом, все нейтроны, вылетающие из точки А, цилиндрическое зеркало фокусирует в точке А'. Нейтроны, прошедшие через обе части выходной решетки, регистрируются отдельно - по двум каналам  $N_1$  и  $N_2$ . Щели двух частей выходной решетки сдвинуты одна относительно другой так, что при перемещении решетки по оси Х получается изменение счета в каналах  $N_1$  и  $N_2$ , показанное на рис. 2. Плотность потока УХН на входную решетку -  $6 \cdot 10^3$  нейтр./см<sup>2</sup>. с. Таким образом, если решетка находится в рабочей точке А, то при сдвиге нейтронно-оптического изображения под действием электрического поля произойдет изменение счета в каналах  $N_1$  и  $N_2$  -  $\Delta N_1$  и  $\Delta N_2$  и, так как производные  $dN/dx$  имеют разный знак, реализуется дифференциальная система измерений. Сумма  $\Delta N_1$  и  $\Delta N_2$  дает информацию о величине электрического заряда нейтрона, а разность дает возможность выделить изменения скорости счета нейтронов, скоррелированные с переключением полярности электрического поля. Вычисление величины этого ложного эффекта позволяет контролировать возможные систематические эффекты. Электрическое поле подключается при помощи электродов из нержавеющей стали. В них вставлены вкладыши из Тi, так что УХН, попадающие на вкладыши, поглощаются и не создают фона.

Нужно отметить значительное изменение чувствительности установки при изменении горизонтальности. При накло-

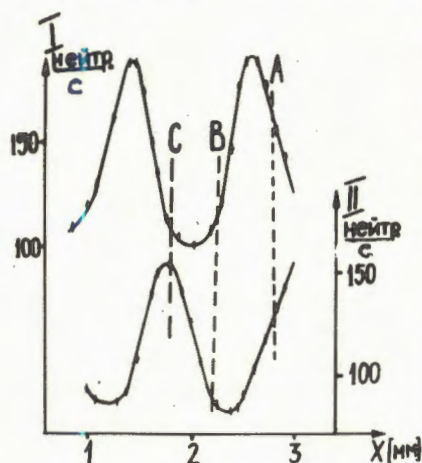


Рис. 2. Изменение счета по каналам  $N_1$  и  $N_2$  при перемещении дифференциальной решетки по оси Х.



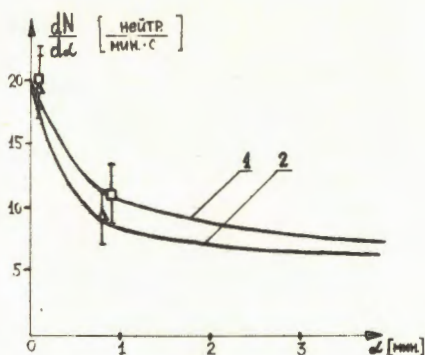


Рис. 3. Изменение чувствительности установки  $dN/d\alpha$  при изменении наклона: 1, 2 – расчетные кривые для левого и правого склонов пика;  $\square$ ,  $\Delta$  – экспериментальные точки.

не всей установки на угол  $\alpha$ , под действием ускорения  $g \sin \alpha$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести, происходит смещение нейтронов по оси  $X$ . В соответствии

с этим меняется счет в обоих каналах в рабочей точке А. Этот эффект был использован для калибровки чувствительности установки в гравитационном поле Земли. Так как через установку проходят немонохроматические нейтроны, то существует дисперсия смещений, поэтому чувствительность установки зависит от величины  $\alpha$ . Расчетные кривые в предположении максвелловского спектра нейтронов и экспериментальные точки для двух углов наклона показаны на рис. 3.

Измерение электрического заряда нейтрона проводилось при напряженности электрического поля  $E = \pm 9$  кВ/см, переключение полярности поля осуществлялось через каждые 50 с. За время  $\tau$  статистическая ошибка при измерении заряда определялась как

$$\Delta q_n = \frac{mgf(\alpha)}{2E} \left[ \frac{\sqrt{2N_1/\tau}}{dN_1/d\alpha} + \frac{\sqrt{2N_2/\tau}}{dN_2/d\alpha} \right],$$

где  $m$  – масса нейтрона,  $f(\alpha)$  – сложная функция угла наклона  $\alpha$ ,  $f(\alpha) = 1$  при  $\alpha$  близко к нулю. На начальном этапе измерений был выявлен значительный систематический эффект, связанный с поведением оптических элементов в высоковольтном поле. Эффект был подавлен путем более жесткого крепления цилиндрического зеркала и дифференциальной решетки. С учетом того, что горизонтальность установки поддерживалась с точностью  $\pm 1$  мин, за время  $\tau = 2,2 \cdot 10^5$  с был получен результат

$$q_n = (4,3 \pm 7,1) \cdot 10^{-20} q_e.$$

На рис. 4 показаны величины измеренного заряда нейтрона в 30 сериях измерений. Каждая серия включала в себя около 100 циклов измерений.



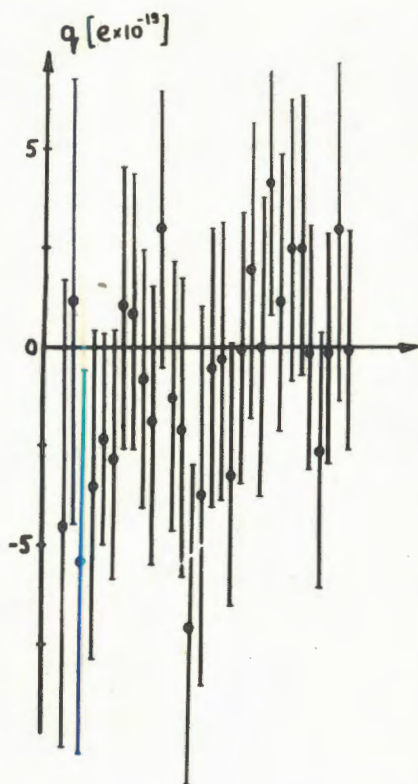


Рис. 4. Величина электрического заряда нейтрона в каждой серии.

Дальнейшее развитие экспериментальной методики потребует увеличения напряженности электрического поля, устранения оптических aberrаций путем повышения точности изготовления оптических элементов и введения тщательного контроля за горизонтальностью установки.

Авторы благодарны академику И.М.Франку, члену-корреспонденту АН СССР В.М.Лобашеву, доктору физико-математических наук В.И.Луцикову за поддержку и постоянное внимание к работе, А.В.Стрелкову - за предоставление детекторов УХН, О.Л.Ореловичу за изготовление электронно-микроскопических фотографий зеркальных поверхностей.

#### Литература

1. Feiberg G., Goldhaber M. Proc.Nat.Acad.Sci., USA, 1959, 45, 1301.
2. Glashow S.L. In.: "Neutrino - 79", Proceedings of the International Conference on Neutrinos, Weak Interactions and Cosmology, Bergen, Norway, 1979, edited by A.Haafuft, G.Jarskog (University of Bergen, Bergen, 1980), 1980, Vol.1, p.518.
3. Chambers L.G. Nature, 1961, 191, 1082.
4. Bailey V.A. J.Proc.R.Soc.N.S.W., 1960, 94, 77.
5. Шапиро И.С., Эстулин И.В. ЖЭТФ, 1956, 30, 579.
6. Shull C.G., Billman K.W., Wedgwood F.A. Phys.Rev., 1967, 153, 5, p.1415.
7. Gahler R., Kalus J., Mampe W. Phys.Rev.D, 1982, 25, 11, p.2887.
8. Калчев С.Д., Кашукеев Н.Т., Серебров А.П., Яйджиев П.С. В сб.: Краткие сообщения ОИЯИ, №3-84, Дубна, ОИЯИ, 1984, с.33.

9. Алтарев И.С. и др. Письма в ЖЭТФ, т.44, вып.6, с.269-272.
10. Борисов Ю.В., Иванов С.Н. Авторское свидетельство № 944021, /СССР/. Оpubл. в ОИПОТЗ, 1982, № 26, с.273.
11. Борисов Ю.В. и др. Препринт ЛИЯФ № 1249, Л., 1987.

Рукопись поступила 31 декабря 1986 года.

УДК 539.172.17

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ ФОРМЫ ЯДЕР  
НА СЕЧЕНИЕ ПОДБАРЬЕРНОГО СЛИЯНИЯ

Р.В.Джолос, В.П.Пермяков

Предложен метод расчета неадиабатических поправок к ядро-ядерному потенциалу во входном канале реакции, вызванных кулоновским взаимодействием ядер. Показано, что кулоновская точка поворота /при фиксированной энергии столкновения  $E < V_B$  / смещается влево, что делает потенциальный барьер, определяющий эффективность канала подбарьерного слияния ядер, более узким. Это приводит к росту сечений подбарьерного слияния сложных ядер, что наблюдается на эксперименте.

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

The Effect of Nuclear Shape Oscillations  
on the Subbarrier Fusion Cross Section

R.V.Jolos, V.P.Permyakov

A method is proposed for calculating nonadiabatic corrections to a nucleus-nucleus potential in the reaction input channel caused by the Coulomb interaction of nuclei. It is shown that the Coulomb turning point (at a fixed collision energy  $E < V_B$ ) shifts to the left, which narrows the potential barrier defining the channel efficiency of a subbarrier fusion of nuclei. This results in the growth of cross sections of subbarrier fusion of complex nuclei observed experimentally.

The investigation has been performed at the Laboratory of Theoretical Physics, JINR.

## Введение

В экспериментах<sup>1,2/</sup>, выполненных с легкими и средними по массовым числам ядрами при подбарьерных энергиях столкновения, получены неожиданно большие сечения слияния, на порядок и более превосходящие результаты расчетов с потенциалами взаимодействия ядер, извлеченными из данных по упругому рассеянию. Попытки объяснить эти результаты в рамках одномерных моделей, рассматривающих только относитель-



ное движение ядер, вели либо к такому переопределению параметров ядро-ядерного потенциала, которые противоречили данным по упругому рассеянию, либо вообще к нефизическим результатам /"вогнутый" барьер, см. рис. 2/. Кроме того, были обнаружены нерегулярности в поведении сечений слияния легких ядер в зависимости от их изотопного состава<sup>/3/</sup>.

Интерес к подбарьерным процессам возрос в последнее время в связи с астрофизическими аспектами этой проблемы<sup>/4/</sup> и с идеями холодного слияния ядер<sup>/5,6/</sup>.

Предпринятые попытки теоретического описания экспериментальных данных по подбарьерному слиянию в сжатом виде сводятся к следующему. Описание процесса подбарьерного слияния требует учета связи относительного движения с внутренними степенями свободы ядер, т.е. рассмотрения, как минимум, двумерного потенциального барьера<sup>/7/</sup>. Из внутренних степеней свободы ядер наиболее важными являются коллективные. При рассмотрении реакций с легкими или средними ядрами, по-видимому, следует прежде всего учитывать колебания формы сталкивающихся ядер<sup>/8,9/</sup> /квадрупольные и т.д./.

При рассмотрении реакций с тяжелыми ионами более важными становятся динамические переменные, описывающие "шейку" между двумя ядрами. В реакциях с магическими или околомагическими ядрами коллективные состояния, отвечающие колебаниям формы ядер, возбуждаются слабо, и более существенными становятся каналы передачи нуклонов<sup>/1/</sup>. С последними, по-видимому, связаны нерегулярности в поведении сечений слияния в зависимости от изотопного состава.

Включение в рассмотрение внутренних возбуждений ядер означает, что для описания процесса подбарьерного слияния необходимо решать задачу на связь каналов. При этом количество каналов, которые необходимо принимать во внимание, достаточно велико, и поэтому требует большого объема вычислений. Адиабатическое приближение также неудовлетворительно, но, как показывает сравнение результатов точных модельных расчетов и адиабатического приближения, последнее может служить основой для разработки метода описания подбарьерного слияния ядер.

В данной работе развивается метод учета неадиабатических поправок к потенциалу взаимодействия ядер и показывается, что учет квадрупольных возбуждений ядер, вызванных кулоновским взаимодействием, ведет к сужению эффективного потенциального барьера и, следовательно, к усилению подбарьерного слияния.

### *Перенормировка потенциального барьера*

Гамильтониан двух сталкивающихся ядер с учетом коллективных квадрупольных возбуждений в одном из них имеет вид:

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \left[ \frac{\partial^2}{\partial R^2} - \frac{\hat{L}^2}{R^2} \right] + V(R) + \frac{\gamma}{\sqrt{2} R^3} \sum_{\mu} (-1)^{\mu} Y_{2\mu}^*(\theta, \phi) a_{2\mu} + \hat{H}_{\text{вн}}(\hat{a}_{2\mu}).$$

Здесь  $R$  - расстояние между центрами масс сталкивающихся ядер,  $\hat{L}$  - оператор углового момента относительного движения,  $\theta, \phi$  - углы, характеризующие траекторию налетающего иона,  $\mu$  - приведенная масса,  $\gamma = (3\sqrt{2}/5) Z_1 Z_2 e^2 R_2^2$ ,  $(Z_1, Z_2; R_1, R_2)$  - заряды и радиусы каждого из ядер,  $V(R)$  - сумма кулоновского и оптического ядерного потенциалов взаимодействия сложных ядер. Динамические переменные  $a_{2\mu}$  описывают квадрупольные колебания в ядре-мишени. Для внутреннего гамильтониана примем приближение эффективного гармонического осциллятора:

$$\hat{H}_{\text{вн}} = -\frac{\hbar^2}{2B_2} \sum_{\mu} (-1)^{\mu} \frac{\partial^2}{\partial a_{2\mu} \partial a_{2-\mu}} + \frac{1}{2} C_2 \sum_{\mu} (-1)^{\mu} a_{2\mu} a_{2-\mu},$$

где  $B_2$  - массовый коэффициент,  $C_2$  - эффективная жесткость.

Уравнения движения для  $a_{2\mu}$  и  $\partial/\partial a_{2\mu}$  имеют вид:

$$[\hat{H}, a_{2\mu}] = -\frac{\hbar^2}{B_2} (-1)^{\mu} \frac{\partial}{\partial a_{2-\mu}}, \quad /2/$$

$$[\hat{H}, \frac{\partial}{\partial a_{2\mu}}] = -\frac{\gamma}{\sqrt{2} R^3} Y_{2\mu}(\theta, \phi) - C_2 (-1)^{\mu} a_{2-\mu}. \quad /3/$$

Объединяя /2/ и /3/, получаем:

$$[\hat{H}, [\hat{H}, a_{2\mu}]] = \frac{\hbar^2 C_2}{B_2} a_{2\mu} + \frac{\hbar^2 \gamma}{\sqrt{2} B_2 R^3} Y_{2\mu}(\bar{R}). \quad /4/$$

Нашей целью является получение эффективного гамильтониана, в котором связь относительного движения с внутренними колебаниями ядра учитывается перенормировкой потенциала /в общем случае перенормируется и приведенная масса  $\mu$  /<sup>10</sup>/, т.е. гамильтониана следующего вида:

$$\hat{H}_{\text{эфф}} = -\frac{\hbar^2}{2\mu} \left( \frac{\partial^2}{\partial R^2} - \frac{\hat{L}^2}{R^2} \right) + V_{\text{эфф}}(R). \quad /5/$$

Для этого найдем функцию  $a_{2\mu}(\bar{R})$ , удовлетворяющую уравнению движения /4/, но с заменой  $\hat{H}$  на  $\hat{H}_{\text{эфф}}$ :

$$[\hat{H}_{\text{эфф}}[\hat{H}_{\text{эфф}} a_{2\mu}(\bar{R})]] = \frac{\hbar^2 C_2}{B_2} a_{2\mu}(\bar{R}) + \frac{\hbar^2 \gamma}{\sqrt{2} B_2 R^3} Y_{2\mu}(\bar{R}). \quad /6/$$

Затем, подставив  $a_{2\mu}(\bar{R})$  в /1/ и сравнив результат подстановки с /5/, получим выражение для  $V_{\text{эфф}}(R)$ . Поскольку в этой работе мы не рассматриваем поправок к приведенной массе, то в выражении для двойного коммутатора  $[\hat{H}_{\text{эфф}}, [\hat{H}_{\text{эфф}} a_{2\mu}(\bar{R})]]$  опустим слагаемые, содержащие дифференциальные операторы. Функцию можно представить следующим образом:

$$a_{2\mu}(\bar{R}) = a(R) Y_{2\mu}(\bar{R}), \quad /7/$$

где  $a(R)$  - неизвестная функция, уравнение для которой получаем, подставляя /5/ и /7/ в /6/

$$\mu^{-1} \frac{dV_{\text{эфф}}}{dR} \frac{da(R)}{dR} + \left( \frac{3\hbar^2}{\mu R^2} \right)^2 a(R) = \frac{C_2}{B_2} a(R) + \frac{\gamma}{\sqrt{2} B_2 R^3}. \quad /8/$$

В интересующей нас области значений  $R$ , больших суммы радиусов полуплотностей ядер, и для не слишком легких ядер величина  $(3\hbar^2/\mu R^2)^2$  заметно меньше  $C_2/B_2$ . Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать уравнение:

$$\mu^{-1} \frac{dV_{\text{эфф}}}{dR} \frac{da(R)}{dR} = \frac{C_2}{B_2} a(R) + \frac{\gamma}{\sqrt{2} B_2 R^3}. \quad /9/$$

Подставляя /7/ в /1/ и сравнивая результат подстановки с /5/, получаем для  $V_{\text{эфф}}$ :

$$V_{\text{эфф}}(R) = V(R) + \frac{5\gamma}{\sqrt{2} R^3} a(R) + \frac{5}{2} C_2 a^2(R). \quad /10/$$

В качестве первого приближения для  $V_{\text{эфф}}(R)$  подставим в /9/ кулоновский потенциал. Тогда для  $a(R)$  получается следующий результат:

$$a(R) = - \frac{\gamma \cdot \mu}{3\sqrt{2} B_2 e^2 Z_1 Z_2} \exp\left(-\frac{\mu C_2 R^3}{3B_2 e^2 Z_1 Z_2}\right) \text{Ei}\left(\frac{\mu C_2 R^3}{3B_2 e^2 Z_1 Z_2}\right), \quad /11/$$

где  $\text{Ei}(x)$  - интегральная показательная функция. Легко проверить, что при  $R \rightarrow \infty$  решение /11/ переходит, как это и должно быть, в результат адиабатического приближения /11/.



На рис. 1 приведены результаты методического расчета перенормированного потенциала взаимодействия ядер  $^{132}\text{Xe} + ^{132}\text{Xe} \rightarrow 2\text{F}$ . В расчетах использовалось гидродинамическое значение массового коэффициента  $B_2$ . На рисунке приведены результаты для двух значений частоты квадрупольных колебаний  $\hbar\omega$ . Как видно из рисунка, учет возбуждения квадрупольных колебаний ядра-мишени эффективно ведет к сужению потенциального барьера и, следовательно, к росту сечения подбарьерного слияния. Таким образом, наш подход позволяет свести сложную задачу учета связи каналов к рассмотрению прохождения системы через одномерный потенциальный барьер.

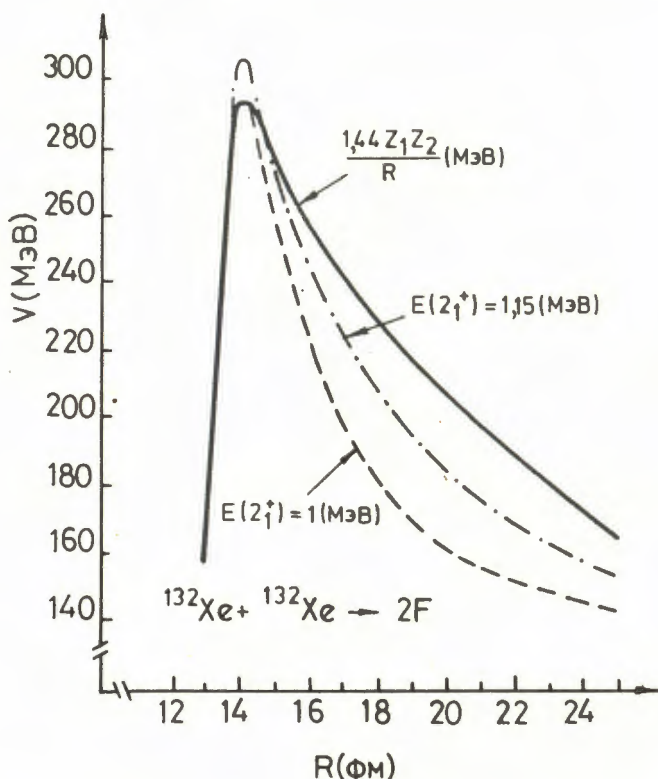


Рис. 1. Потенциальный барьер /методический расчет/ для реакции  $^{132}\text{Xe} + ^{132}\text{Xe} \rightarrow 2\text{F}$ . Штрихованная линия - перенормированный кулоновский потенциал для энергии квадрупольных колебаний ядра  $E(2_1^*) = 1$  МэВ, штрихпунктирная - для  $E(2_1^*) = 1,15$  МэВ.

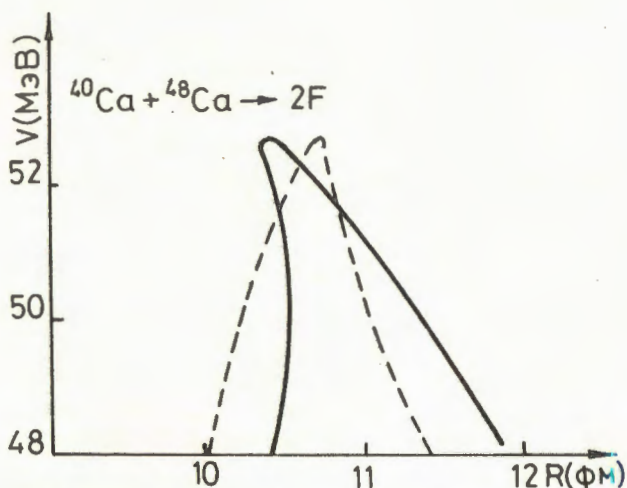


Рис. 2. Потенциальный барьер /сплошная линия/, необходимый для описания экспериментальных данных по сечениям подбарьерного слияния для реакции  $^{40}\text{Ca} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow 2\text{F}$  /получен с помощью решения обратной задачи /12/. Штрихованная линия - потенциальный барьер, полученный из расчетов по методу, предложенному в данной работе.

В работе /12/ высказывается сомнение в применимости одномерного потенциального барьера для описания процесса подбарьерного слияния. В работах /3, 12/ /см. рис. 2/ был вычислен потенциальный барьер, необходимый для описания функций возбуждения. Иными словами, с использованием результатов работы /12/, была решена обратная задача - зная сечение подбарьерного слияния, определить, каков при этом должен быть одномерный потенциальный барьер. Из рис. 2 видно, что полученный таким образом барьер вогнут вправо и даже двузначен. Такое поведение потенциального барьера слева неприемлемо, т.к. очевидно, что с левой стороны потенциальный барьер быстро спадает на интервале, равном приблизительно диффузности ядерного потенциала. Причина столь странного поведения потенциального барьера легко объяснима: когда восстанавливался потенциальный барьер, считалось, что справа его спад определяется кулоном, и от кулоновской точки поворота отсчитывалась толщина барьера  $\Delta t$  /12/. Если учесть перенормировки к кулоновскому потенциалу, вызванные возбуждением низколежащих ядерных состояний /см. рис. 1/, то мы получим приемлемую форму потенциального барьера - вогнутость справа и быстрый спад слева от вершины барьера.

## *Литература*

1. Beckerman M. et al. Phys.Rev.Lett., 1980, 45, p.1472.
2. Stokstad R.G. et al. Z.Phys. A: Atoms and Nuclei, 1980, Vol.295, p.269.
3. Thomas J. et al. Phys.Rev., 1985, C31, p.1980.
4. Беляев В.Б. и др. ОИЯИ, Е4-86-66, Дубна, 1986.
5. Oganesian Yu.Ts. et al. Nucl. Phys., 1975, A239, p.353.
6. Schmidt K.H. et al. Z.Phys. A: Atoms and Nuclei, 1981, Vol.301, p.21.
7. Landonne S., Nix J.R. Nucl.Phys., 1981, A368, p.352.
8. Rhoades-Brown M.J., Oberacker V.E. Phys.Rev.Lett., 1983, 50, p.1435.
9. Reisdorf W. et al. Phys.Rev.Lett., 1982, 49, p.1911.
10. Джолос Р.В., Пермяков В.П., Шульц Г. ОИЯИ, Р4-9635, Дубна, 1976.
11. Джолос Р.В., Пермяков В.П. ОИЯИ, Р4-8416, Дубна, 1974.
12. Balantekin A.B., Koopin S.E., Negele L.W. Phys.Rev., 1983, C28, p.1565.

Рукопись поступила 15 декабря 1986 года.



УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ К СБОРНИКАМ  
"КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ ОИЯИ", №14-20, 1986

№14

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| М.К.Волков, А.Н.Иванов, Н.И.Троицкая<br>Скалярный мезон $\delta$ /980/ в модели кварковых<br>петель.....                                       | 5  |
| Л.В.Сильвестров<br>Анализ образования $e^+e^-$ -пар в экспериментах<br>с нейтральными каонами.....                                             | 9  |
| В.Н.Ефимов<br>Учет кварковых степеней свободы в NN-взаимодей-<br>ствии в рамках модели граничных условий<br>/задача двух и трех нуклонов/..... | 19 |
| В.А.Николаев, Э.Рока<br>Квантование модели Скирма с нарушенной<br>киральной симметрией.....                                                    | 28 |
| Н.Н.Боголюбов /мл./ и др.<br>Коллективное спонтанное излучение<br>в двухкомпонентной двухуровневой системе....                                 | 33 |

№15

|                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| М.Г.Долидзе, Г.И.Лыкасов<br>Резонансные особенности в двухнуклонной<br>системе, образующейся в $P-^4\text{He}$ взаимодействии..  | 5  |
| В.В.Буров, В.К.Лукиянов, Р.Мартинес<br>Упругое $e^3N$ -рассеяние и кварковая структура<br>третия.<br>/На английском/.....        | 13 |
| В.К.Федянин, В.А.Осипов, И.С.Стойнова<br>Динамические эффекты в моделях Гросса-Невье<br>и полиацетилена.<br>/На английском/..... | 19 |
| И.А.Голутвин и др.<br>Исследование на установке "Аномалон" вторичных<br>ядер с внутренней мишени<br>синхрофазотрона.....         | 25 |
| О.Б.Абдинов и др.<br>Наблюдение узких дипротонных резонансов<br>с массами 1966 и 1989 МэВ/с <sup>2</sup> .....                   | 34 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| В.В.Данилов и др.                                                                                            |    |
| Измерение истинного объемного паросодержания<br>потока двухфазного гелия в канале<br>кольцевого сечения..... | 42 |

# №16

|                                                                                                |   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| Л.А.Малов, Нгуен Динь Винь, В.Г.Соловьев                                                       |   |
| Фрагментация одноквазичастичных состояний<br>в $^{153,155}\text{Sm}$ и $^{153,155}\text{Eu}$ . |   |
| /На английском/.....                                                                           | 5 |

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| С.А.Краснов и др.                                                                                                           |    |
| О некоторых особенностях центральных<br>столкновений ядер неона-22 с ядрами<br>в фотоэмульсии при импульсе 4,1 А·ГэВ/с..... | 11 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| В.В.Пашкевич, А.Сэндулеску                                   |    |
| Бимодальное деление в рамках метода<br>оболочечной поправки. |    |
| /На английском/.....                                         | 19 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| А.М.Балдин и др.                                                                         |    |
| Четырехмерные струи - универсальные<br>характеристики множественного<br>рождения частиц. |    |
| /На английском/.....                                                                     | 24 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| И.В.Кузнецов и др.                                                    |    |
| Эксперименты по длительному удержанию<br>электронно-ионных колец..... | 33 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| В.В.Абаев, В.П.Коптев, Ф.Никитиу                                                              |    |
| Узкие дибарионы с низкой массой<br>и возможность существования нового<br>стабильного бариона. |    |
| /На английском/.....                                                                          | 42 |

# №17

|                                                                                                                                             |   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| В.А.Лескин, К.Д.Толстов                                                                                                                     |   |
| Импульсные спектры пионов и протонов<br>в столкновениях р, $^{12}\text{C}$ и $^{22}\text{Ne}$ с ядрами<br>фотоэмульсии при 4,5 А·ГэВ/с..... | 5 |

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| В.М.Головин и др.                                                                       |    |
| Измерение сечений взаимодействия ядер $^{19}\text{F}$<br>при импульсе 4·ГэВ/нуклон..... | 13 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| А.М.Балдин, А.А.Балдин                                                                   |    |
| Описание множественных процессов на основе<br>триангуляции в пространстве скоростей..... | 19 |

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| А.А.Бельков, Ю.Л.Калиновский, В.Н.Первушин<br>Распад $K_S^0 \rightarrow \gamma\gamma$ в киральной теории.....                                              | 27 |
| Нгуен Ван Хьеу, Нгуен Хунг Шон<br>Об одной реализации исключительных<br>алгебр $E_6$ и $E_8$ .....                                                         | 32 |
| Ю.М.Гледенов и др.<br>Исследование реакции ${}^7\text{Be}(n,p){}^7\text{Li}$<br>в области энергии нейтронов от 0,025<br>до 500 эВ.....                     | 36 |
| М.Т.Магда, А.Поп, А.Сэндулеску<br>Процессы передачи массивных кластеров<br>в реакциях, ведущих к образованию<br>тяжелых актинидов.<br>/На английском/..... | 41 |

# №18

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| В.С.Ставинский<br>Единый алгоритм вычисления инклюзивных<br>сечений рождения частиц с большими поперечными<br>импульсами и адронов кумулятивного типа.....  | 5  |
| В.Б.Беляев, О.П.Соловцова<br>Адронный атом в модели Ли.....                                                                                                 | 18 |
| В.В.Буров, В.К.Лукьянов, Р.Мартинес<br>Упругое рассеяние электронов при больших<br>переданных импульсах и кварковая структура<br>ядра ${}^4\text{He}$ ..... | 25 |
| А.Б.Попов, , Г.С.Самосват<br>Спин-орбитальные эффекты в резонансном<br>и потенциальном рассеянии р-волновых<br>нейтронов.....                               | 30 |
| А.Сэндулеску, Х.Скутару, В.Шейд<br>Открытая квантовая система для двух<br>связанных гармонических осцилляторов<br>/На английском/.....                      | 37 |
| А.В.Банников и др.<br>Измерение первичной ионизации релятивистских<br>частиц в стримерной камере<br>спектрометра РИСК.....                                  | 48 |
| С.И.Тютюников, В.Н.Шалапин<br>Устройство для оперативного контроля<br>размеров электронного кольца по свечению                                              |    |



остаточного газа.....57

№19

А.Н.Алеев и др.  
Поляризация  $\Xi^-$ , рожденных инклюзивно  
нейтронами.....6

А.Н.Алеев и др.  
Наблюдение U/3100/ в экспериментах БИС-2.  
/На английском/.....16

Д.А.Мжавия, Г.В.Мицельмахер, Ф.Г.Ткебучава  
Распад  $\pi^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e$  и аксиальные форм-  
факторы  $\pi$  мезона.....24

А.И.Малахов, Г.Л.Мелкумов  
Описание бинарных реакций в пространстве  
четырёхмерных относительных  
скоростей.....32

С.И.Виницкий, В.И.Коробов, И.В.Пузынин  
Вариационный расчёт характеристик  
слабосвязанных вращательно-колебательных  
состояний мезомолекул  $dd_\mu$  и  $dt_\mu$ .....40

Е.А.Сокол и др.  
Предварительные результаты изучения  
характеристик спонтанного деления  $^{259}\text{Md}$ .....45

А.М.Балагуров, Г.М.Миронова  
Изучение кинетики реакции гидратации  
трехкальциевого алюмината методом  
дифракции нейтронов.....50

№20

Д.А.Мжавия, Г.В.Мицельмахер  
О распадах  $\tau \rightarrow 3\mu$  и  $\tau \rightarrow 3\mu 2\pi$ .....4

Й.Ланик  
Низкоэнергетические теоремы нарушенной  
масштабной инвариантности для легких  
скалярных мезонов.  
/На английском/.....10

А.Костеску, Е.Е. Радеску  
Тороидная поляризуемость водородоподобных  
атомов.  
/На английском/.....16

Н.Н.Боголюбов /мл/, А.С.Шумовский, Чан Куанг  
Статистические свойства фотонов в коллективном  
резонансном рассеянии Рамана.  
/На английском/.....21

Е.Д.Донец, С.В.Карташов, В.П.Овсянников  
Получение, идентификация и спектроскопия  
рентгеновского излучения ионов  $Kr^{35+}$  и  $Kr^{36+}$   
на поверхности твердого тела.....27

# J I N R RAPID COMMUNICATIONS - 1986

## CONTENTS

### No.14

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| M.K.Volkov, A.N.Ivanov, N.I.Troitskaya<br>8 (1980) Scalar Meson in the Quark<br>Loop Model.<br>(In Russian).....                                                                              | 5  |
| L.V.Silvestrov<br>Analysis of $e^+ e^-$ Pair Production<br>in Experiments with Neutral Kaons.<br>(In Russian).....                                                                            | 9  |
| V.N.Efimov<br>Consideration of Quark Degrees of Freedom<br>in NN-Interaction in the Framework of<br>Boundary Condition Model<br>(The Problem of Two and Three Nucleons).<br>(In Russian)..... | 19 |
| V.A.Nikolaev, E.Roca<br>Quantization in Skyrme Model with Broken<br>Chiral Symmetry.<br>(In Russian).....                                                                                     | 28 |
| N.N.Bogolubov, Jr. et al.<br>Collective Spontaneous Radiation in<br>Two-Component Two-Level System.<br>(In Russian).....                                                                      | 33 |

### No.15

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| M.G.Dolidze, G.I.Lykasov<br>Resonance Singularities in the Two-Nucleon<br>System Produced in $p-^4\text{He}$ Interaction.<br>(In Russian)..... | 5  |
| V.V.Burov, V.K.Lukyanov, R.Martines<br>Elastic $e^3\text{H}$ Scattering and the Tritium<br>Quark Structure.....                                | 13 |
| V.K.Fedyanin, V.A.Osipov, I.S.Stoyanova<br>The Dynamical Effects in the Gross-Neveu<br>and Polyacetylene Models.....                           | 19 |
| I.A.Golutvin et al.<br>Study of Secondary Nuclei Produced<br>on the Synchrophasotron Internal Target.<br>(In Russian).....                     | 25 |



|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| O.B.Abdinov et al.<br>Observation of Narrow Diproton Resonances<br>with 1966 and 1989 MeV/c <sup>2</sup> Masses.<br>(In Russian)..... | 34 |
| V.V.Danilov et al.<br>Measurement of Vapour Void Fraction of Two<br>Phase Helium Flow in Annular Channel.<br>(In Russian).....        | 42 |

#### No.16

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| L.A.Malov, Nguyen Dinh Vinh, V.G.Soloviev<br>Fragmentation of One-Quasiparticle States<br>in <sup>153,155</sup> Sm and <sup>153,155</sup> Eu.....       | 5  |
| S.A.Krasnov et al.<br>On Some Peculiarities of 4.1 A-GeV/c Momentum<br>Neon-22 Nucleus Collisions with Nuclei<br>in Photoemulsion.<br>(In Russian)..... | 11 |
| V.V.Pashkevich, A.Săndulescu<br>Bimodal Fission in the Shell-Correction<br>Approach.....                                                                | 19 |
| A.M.Baldin et al.<br>Four-Dimensional Jets as Universal<br>Characteristics of Multiple Particle<br>Production.....                                      | 24 |
| I.V.Kuznetsov et al.<br>Experiments on a Prolonged Confinement<br>of Electron-Ion Rings.<br>(In Russian).....                                           | 33 |
| V.V.Abaev, V.P.Koptev, F.Nichitiu<br>The Narrow Low-Mass Dibaryons and the<br>Possible Existence of a New<br>Stable Baryon.....                         | 42 |

#### No.17

|                                                                                                                                                                                      |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| V.A.Leskin, K.D.Tolstov<br>Momentum Spectra of Pions and Protons<br>in p, <sup>12</sup> C and <sup>22</sup> Ne Collisions with Emulsion<br>Nuclei at 4.5 GeV/c.<br>(In Russian)..... | 5 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| V.M.Golovin et al.<br>Measurement of $^{19}\text{F}$ Nuclear Interaction<br>at 4 GeV/c per Nucleon.<br>(In Russian).....                                        | 13 |
| A.M.Baldin, A.A.Baldin<br>Description of Multiparticle Processes<br>on the Basis of Triangulation in the<br>Velocity Space.<br>(In Russian).....                | 19 |
| A.A.Bel'kov, Yu.L.Kalinovsky, V.N.Pervushin<br>Decay $K_S^0 \rightarrow \gamma\gamma$ in the Chiral Theory.<br>(In Russian).....                                | 27 |
| Nguyen Van Hieu, Nguyen Hung Son<br>On a Realization of the Exceptional<br>Algebras $E_6$ and $E_8$ .<br>(In Russian).....                                      | 32 |
| Yu.M.Gledenov et al.<br>On the Study of the $^7\text{Be}(n,p)^7\text{Li}$ Reaction<br>in the Neutron Energy Range from<br>0.025 to 500 eV.<br>(In Russian)..... | 36 |
| M.T.Magda, A.Pop, A.Sandulescu<br>Large Cluster Transfer Processes<br>in Reactions Leading to Heavy Actinides.....                                              | 41 |

#### No.18

|                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| V.S.Stavinskij<br>Unique Algorithm for Calculation of Inclusive<br>Cross Sections of Particle Production<br>with Big Transverse Momenta and of Cumulative<br>Type Hadrons.<br>(In Russian)..... | 5  |
| V.B.Belyaev, O.P.Solovtsova<br>Hadronic Atom in the Lee Model.<br>(In Russian).....                                                                                                             | 18 |
| V.V.Burov, V.K.Lukyanov, R.Martines<br>Elastic Electron Scattering at High Momentum<br>Transfer and the Quark Structure of $^4\text{He}$ .<br>(In Russian).....                                 | 25 |
| A.B.Popov, G.S.Samosvat<br>Spin-Orbital Effects in Resonance and<br>Potential Scattering of p-Wave Neutrons.<br>(In Russian).....                                                               | 30 |

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A.Săndulescu, H.Scutaru, W.Scheid<br>Open Quantum System of Two Coupled<br>Harmonic Oscillators..... | 37 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A.V.Bannikov et al.<br>Primary Ionization Measurement of<br>Relativistic Particles in the RISK<br>Spectrometer Streamer Chamber.<br>(In Russian)..... | 48 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| S.I.Tyutyunnikov, V.N.Shalyapin<br>Equipment for Operative Control of<br>Electron Ring Size by Luminosity<br>of Residual Gas.<br>(In Russian)..... | 57 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

# No.19

|                                                                                                           |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| A.N.Aleev et al.<br>Polarization of $\bar{H}^-$ Produced Inclusively<br>by Neutrons.<br>(In Russian)..... | 6 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| A.N.Aleev et al.<br>Observation of U(3100) in BIS-2<br>Experiments..... | 16 |
|-------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| D.A.Mzhavia, G.V.Micelmacher, F.G.Tkebuchava<br>The Decay $\pi^+ \rightarrow e^+ \nu e^+ e^-$ and Axial<br>Form Factors of $\pi^-$ Meson.<br>(In Russian)..... | 24 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A.I.Malakhov, G.L.Melkumov<br>Description of Binary Reactions in the<br>Relative Four-Velocity Space.<br>(In Russian)..... | 32 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| S.I.Vinitsky, V.I.Korobov, I.V.Puzynin<br>Variational Calculation of Characteristics<br>of Weakly Bound Rotational-Vibrational<br>States of Mesic Molecules $dd\mu$ and $dt\mu$ .<br>(In Russian)..... | 40 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| E.A.Sokol et al.<br>Preliminary Results on the Study of $^{259}\text{Md}$<br>Spontaneous Fission Parameters.<br>(In Russian)..... | 45 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A.M.Balagurov, G.M.Mironova<br>The Study of the Hydration Reaction Kinetics<br>of Three-Calcium Aluminium Oxide Using the<br>Neutron Diffraction Method. (In Russian).... | 50 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|



|                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| D.A.Mzhavia, G.V.Micelmacher<br>On the Decays $\tau \rightarrow 3\mu$ and $\tau \rightarrow 3\mu 2\nu$ .<br>(In Russian).....                                         | 4  |
| J.Lánik<br>Low Energy Theorems of Broken Scale<br>Invariance for Light Scalar Mesons.....                                                                             | 10 |
| A.Costescu, E.E.Radescu<br>Toroid Polarizability of Hydrogen-Like<br>Atoms.....                                                                                       | 16 |
| N.N.Bogolubov, Jr., A.S.Shumovsky, Tran Quang<br>Statistical Properties of Photons in<br>Collective Resonant Raman Scattering.....                                    | 21 |
| E.D.Donets, S.V.Kartashov, V.P.Ovsyannikov<br>Production, Identification and Ion-at-Surface<br>X-Ray Spectroscopy of $Kr^{35+}$ and $Kr^{36+}$ .<br>(In Russian)..... | 27 |

**ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ К СБОРНИКАМ**  
**"КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ ОИЯИ" №№14-20, 1986**

- |                            |                      |
|----------------------------|----------------------|
| Абаев, В.В. - №16, с.42    | Бирулев, В.К. - №19, |
| Абашидзе, Л.И. - №19, с.6  | с.6                  |
| - №19, с.16                | - №19,               |
| Абдинов, О.Б. - №15, с.34  | с.16                 |
| Абдужамилов, А.            | Богданов, С.Д.       |
| - №16, с.11                | - №16, с.11          |
| Абдужамилов, Ш.            | Боголюбов, Н.Н./мл./ |
| - №16, с.11                | - №14, с.33          |
| Абесалашвили, Л.Н.         | - №20, с.21          |
| - №19, с.6                 | Бондаренко, А.И.     |
| - №19, с.16                | - №16, с.11          |
| Аветян, Ф.А. - №16, с.11   | Брухертзайфер, Х.    |
| Адамович, М.И. - №16, с.11 | - №19, с.45          |
| Азимов, С.А. - №16, с.11   | Бубнов, В.И. - №16,  |
| Алеев, А.Н. - №19, с.6     | с.11                 |
| - №19, с.16                | Будагов, Ю.А.        |
| Амаглобели, Н.С.           | - №15, с.34          |
| - №19, с.6                 | Букланов, Г.В.       |
| - №19, с.16                | - №19, с.45          |
| Андреева, Н.П. - №16, с.11 | Бурилков, Д.Т.       |
| Анзон, З.В. - №16, с.11    | - №19, с.6           |
| Антончик, В.А. - №16, с.11 | - №19, с.16          |
| Арефьев, В.А. - №19, с.6   | Буров, В.В. - №15,   |
| - №19, с.16                | с.13                 |
| Бабаев, А.Х. - №16, с.11   | - №18,               |
| Байрамов, А.А. - №15, с.34 | с.25                 |
| Бакаев, В.А. - №16, с.11   | Бэм, Я. - №18, с.48  |
| Балагуров, А.М.            | Ваздик, Я.А.         |
| - 19, с.50                 | - №19, с.6           |
| Баландин, В.П. - №19, с.6  | - №19, с.16          |
| - №19, с.16                | Вертоградов, Л.С.    |
| Балдин, А.А. - №17, с.19   | - №18, с.48          |
| Балдин, А.М. - №16, с.24   | Вецко, М. - №19,     |
| - №17, с.19                | с.6                  |
| Банников, А.В. - №18, с.48 | - №19,               |
| Басова, Е.С. - №16, с.11   | с.16                 |
| Батюня, Б.В. - №16, с.24   | Виницкий, С.И.       |
| Белоусов, А.В. - №16, с.11 | - №19, с.40          |
| Белоусов, А.С. - №19, с.6  | Власов, Н.В.         |
| - №19, с.16                | - №19, с.6           |
| Бельков, А.А. - №17, с.27  | - №19, с.16          |
| Беляев, В.Б. - №18, с.18   | Вокал, С. - №16,     |
| Бердишев, В.К. - №19, с.6  | с.11                 |
| - №19, с.16                |                      |

Волков, М.К. - №14,  
с.5  
Вольтер, В. - №16, с.11  
Восек, Б. - №16, с.11  
Гаджиева, С. - №16, с.11  
Гайтинов, А.Ш. - №16,  
с.11  
Гицок, М. - №16, с.11  
Гладки, Я. - №19, с.6  
- №19, с.16  
Гладыш, Э. - №16, с.11  
Гледенов, Ю.М. - №17,  
с.36  
Головин, В.М. - №17,  
с.13  
Голутвин, И.А.  
- №15, с.25  
- №17, с.13  
Граменицкий, И.М.  
- №16, с.24  
Григалашвили, Т.С.  
- №19, с.6  
- №19, с.16  
Гришин, В.Г. - №16, с.24  
Гришкевич, Я.В. - №18,  
с.48  
Гуламов, К.Г. - №16,  
с.11  
Гулямов, У.Г. - №16,  
с.11  
Гуськов, Б.Н.  
- №19, с.6  
- №19, с.16  
Данилов, В.В. - №15,  
с.42  
Дворник, А.М. - №15,  
с.34  
Девцын, Е.Г.  
- №19, с.6  
- №19, с.16  
Джавришвили, А.К. - №18,  
с.48  
Джорджадзе, В.П.  
- №19, с.6  
- №19, с.16  
Диденко, Л.А. - №16,  
с.24

Долидзе, М.Г. - №15,  
с.5  
Доля, С.Н. - №15, с.25  
- №17, с.13  
Донец, Е.Д. - №20,  
с.27  
Евсиков, И.И. - №19,  
с.6  
- №19,  
с.16  
Елигбаева, Г.Ж  
- №16, с.11  
Еременко, Л.Е. - №16,  
с.11  
Ефимов, В.Н. - №14,  
с.19  
Жильцов, В.Е.  
- №15, с.25  
- №17, с.13  
Жуманов, А. - №16,  
с.11  
Завертаев, М.В.  
- №19, с.6  
- №19, с.16  
Зарубин, А.В. - №15,  
с.25  
- №17,  
с.13  
Заячки, В.Й.  
- №19, с.6  
- №19, с.16  
Зварова, Т.С. - №17,  
с.36  
Зейналов, Ш.С. - №19,  
с.45  
Зинченко, А.И.  
- №19, с.6  
- №19, с.16  
Иванов, А.Н. - №14,  
с.5  
Иванов, М.П. - №19,  
с.45  
Иванченко, И.М.  
- №19, с.6  
- №19, с.16



- Кадагидзе, Н.О.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Какурин, И.Н. - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Калиновский, Ю.Л. - №17,  
 с.27
- Калячкина, Г.С. - №16,  
 с.11
- Каныгина, Э.К. - №16,  
 с.11
- Капшин, М.Н. - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Карабова, М. - №16, с.11
- Кириллов, Д.А.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Карпенко, Н.Н.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Карташов, С.В. - №20,  
 с.27
- Кватадзе, Р.А. - №19,  
 с.6  
 - №19,  
 с.16
- Кекелидзе, В.Д.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Клабун, Ю. - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Козлов, В.А. - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Коптев, В.П. - №16, с.42
- Коробов, В.И. - №19, с.40
- Короткин, Ю.С. - №19,  
 с.45
- Косарев, И.Г. - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Костеску, А. - №20, с.16
- Краснов, С.А. - №16, с.11
- Крастев, В.П. - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Кришян, В.М. - №16, с.11
- Крумштейн, З.В. - №18,  
 с.48
- Кузнецов, А.А. - №16,  
 с.24
- Кузнецов, И.В. - №16,  
 с.33
- Кузьмин, Н.А.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Ланик, Й. - №20, с.10
- Ларионова, В.Г. - №16,  
 с.11
- Лепехин, Ф.Г. - №16,  
 с.11
- Лескин, В.А. - №16,  
 с.11  
 - №17,  
 с.5
- Лихачев, М.Ф.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Локтионов, А.А.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Ломакин, Ю.Ф.  
 - №15, с.34
- Ломидзе, Н.Л.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Ломтадзе, Т.А.  
 - №18, с.48
- Лукичева, Н.С. - №16,  
 с.11
- Лукьянов, В.К.  
 - №15, с.13  
 - №18, с.25
- Лыкасов, Г.И. - №15,  
 с.5
- Лысяков, В.Н. - №15,  
 с.25
- Любимов, А.Л.  
 - №19, с.6  
 - №19, с.16
- Магда, М.Т. - №17,  
 с.41
- Маилов, А.А. - №15,  
 с.34

- Майсурадэ, П.А. - №15, с.42  
 Макаров, А.Н. - №19, с.6  
 Максимов, А.Н. - №19, с.16  
 Малиновский, Е.И. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Малахов, А.И. - №19, с.32  
 Малов, Л.А. - №16, с.5  
 Мамедов, И.С. - №15, с.42  
 Марков, П.К. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Мартинес, Р. - №15, с.13  
 - №18, с.25  
 Марутян, Н.А. - №16, с.11  
 Масленникова, Н.В. - №16, с.11  
 Мелитаури, Г.В. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Мелкумов, Г.Л. - №19, с.32  
 Мерекон, Ю.П. - №18, с.48  
 Метревели, З.В. - №16, с.24  
 Мжавия, Д.А. - №19, с.24  
 - №20, с.4  
 Миронова, Г.М. - №19, с.50  
 Мирходжаева, Д. - №16, с.11  
 Митриков, М.П. - №17, с.36  
 Митрикова, Р.С. - №17, с.36  
 Мицельмахер, Г.В. - №19, с.24  
 - №20, с.4  
 Мойсенз, П.В. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Морозов, А.Н. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Навотный, В.Ш. - №16, с.11  
 Нгуен Ван Хьеу. - №17, с.32  
 Нгуен Динь Винь. - №16, с.5  
 Нгуен Хунг Шон. - №17, с.32  
 Никитиу, Ф. - №16, с.42  
 Никобадзе, Г.И. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Николаев, В.А. - №14, с.28  
 Новак, М. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Новак, С. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Новак, Х. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Овсянников, В.П. - №20, с.27  
 Орлова, Г.И. - №16, с.11  
 Осипов, В.А. - №15, с.19  
 Остроумов, В.И. - №16, с.11  
 Павловская, В.В. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Пальчик, В.В. - №19, с.6  
 - №19, с.16  
 Пашкевич, В.В. - №16, с.19  
 Первушин, В.Н. - №17, с.27  
 Перельгин, В.В. - №15, с.25  
 - №17, с.13  
 Перельштейн, Э.А. - №16, с.33  
 Петров, В.И. - №16, с.11

- |                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Петров, М.В. - №19, с.16       | Свечникова, Л.Н.            |
| Петрухин, В.И. - №18, с.48     | - №16, с.11                 |
| Пицхелаури, Т.Г.               | Свиридов, В.А.              |
| - №19, с.6                     | - №15, с.25                 |
| - №19, с.16                    | - №17, с.13                 |
| Пишка, К. - №18, с.48          | Семенюшкин, А.И.            |
| Позе, А.В. - №19, с.6          | - №15, с.25                 |
| - №19, с.16                    | Силеш, Э. - №16, с.11       |
| Позе, Д. - №15, с.25           | Сильвестров, Л.В.           |
| Поп, А. - №17, с.41            | - №14, с.9                  |
| Попов, А.Б. - №18, с.30        | Симонов, Б.Б. - №16, с.11   |
| Попов, Ю.П. - №17, с.36        | Скутару, Х. - №18, с.37     |
| Поташев, С.Ю. - №19, с.6       | Слепец, Л.А. - №19, с.6     |
| - №19, с.16                    | - №19, с.16                 |
| Потребеников, Ю.К. - №19, с.16 | Слюсарева, В.Б.             |
| Прогулова, Т.Б.                | - №19, с.6                  |
| - №19, с.6                     | Смижанска, М.               |
| - №19, с.16                    | - №19, с.6                  |
| Прокеш, А. - №19, с.6          | - №19, с.16                 |
| - №19, с.16                    | Смирнов, В.И. - №19, с.45   |
| Пузынин, И.В. - №19, с.40      | Смирнов, Н.А.               |
| Пчельников, Ю.Н. - №15, с.42   | - №19, с.6                  |
| Раввина, Е.А. - №16, с.11      | - №19, с.16                 |
| Радеску, Е.Е. - №20, с.16      | Смолин, Д.А. - №15, с.25    |
| Разувакин, В.Н. - №16, с.33    | Сокол, Е.А. - №19, с.45     |
| Рока, Э. - №14, с.28           | Соловцова, О.П. - №18, с.18 |
| Русаков, С.В. - №19, с.6       | Соловьев, В.Г. - №16, с.5   |
| - №19, с.16                    | Соловьев, Ю.В. - №19, с.6   |
| Рызек, Х.-Э. - №19, с.6        | - №19, с.16                 |
| - №19, с.16                    | Ставинский, В.С.            |
| Саидханов, Н.Ш. - №16, с.11    | - №18, с.5                  |
| Салацкий, В.И. - №17, с.36     | Стоянова, И.С. - №15, с.19  |
| Саломов, Дж.А. - №16, с.11     | Султанов, Г.Г. - №19, с.16  |
| Самосват, Г.С. - №18, с.30     |                             |
| Саркисова, Л.Г. - №16, с.11    |                             |
| Саркисян, В.Ф. - №16, с.11     |                             |



- Сумбаев, А.П. - №16,  
с.33
- Сэндулеску, А.  
- №16, с.19  
- №17, с.41  
- №18, с.37
- Сэрдамба, Л. - №16, с.11
- Татишвили, Г.Т.  
- №19, с.6  
- №19, с.16
- Тахтамышев, Г.Г. - №19,  
с.6
- Тер-Акопян, Г.М. - №19,  
с.45
- Теркулов, А.Р.  
- №19, с.6  
- №19, с.16
- Тимохин, В.А. - №16,  
с.33
- Тихомиров, В.В.  
- №15, с.25  
- №17, с.13
- Ткебучава, Ф.Г. - №19,  
с.24
- Тогоо, Р. - №16, с.11
- Тодоров, П.Т.  
- №19, с.6  
- №19, с.16
- Толстов, К.Д.  
- №16, с.11  
- №17, с.5
- Топор, В. - №16, с.11
- Тотова, М. - №16, с.11
- Траянов, Р.К.  
- №19, с.6  
- №19, с.16
- Третьякова, М.И. - №16,  
с.11
- Троицкая, Н.И. - №14,  
с.5
- Трофимова, Т.П. - №16,  
с.11
- Тувдендорж, Д. - №16,  
с.11
- Тураев, М.Т. - №14, с.33
- Тютюников, С.И. - №18,  
с.57
- Федунов, А.Г.  
- №15, с.25  
- №17, с.13
- Федянин, В.К. - №15,  
с.19
- Филиппов, Ю.П. - №15,  
с.42
- Флеров, Г.Н. - №19,  
с.45
- Флягин, В.Б. - №15,  
с.34
- Фоменко, А.М.  
- №19, с.6  
- №19, с.16
- Фунг Ван Зуан. - №17,  
с.36
- Хабаров, В.С. - №15,  
с.25
- Хайдук, М. - №16, с.11
- Харжеев, Ю.Н. - №15,  
с.34
- Харламов, С.П. - №16,  
с.11
- Хиллер, К. - №19, с.6  
- №19, с.16
- Холматова, Р.У. - №16,  
с.11
- Холынски, Р. - №16,  
с.11
- Хошмухамедов, Р.А.  
- №16, с.11
- Цовбун, В.И.  
- №15, с.25  
- №17, с.13
- Цхададзе, Э.Г. - №18,  
с.48
- Чан Куанг. - №20, с.21
- Чаргейшвили, М.С.  
- №19, с.6  
- №19, с.16
- Часников, И.Я. - №16,  
с.11
- Чвыров, А.С. - №19,  
с.6  
- №19,  
с.16

- Чвыров, А.С. - №19, с.6  
- №19, с.16  
Челноков, Л.П. - №19,  
с.45  
Черемухин, А.Е. - №16,  
с.33  
Чернов, Г.М. - №16, с.11  
Чернова, Л.П. - №16, с.11  
Чернявский, М.М. - №16,  
с.11  
Чолаков, В.Д. - №19, с.6  
- №19, с.16  
Чудаков, Е.А. - №19, с.6  
- №19, с.16  
Шабратова, Г.С. - №16,  
с.11  
Шаляпин, В.Н. - №18, с.57  
Шанидзе, Р.Г. - №19, с.6  
- №19, с.16  
Шаро, Ш. - №19, с.45  
Шафарик, К. - №18, с.48  
Шахова, Ц.И. - №16, с.11  
Шейд, В. - №18, с.37  
Шелков, Г.А. - №18, с.48  
Ширков, Г.Д. - №16, с.33  
Штарков, Л.Н. - №19, с.6  
- №19, с.16  
Шумовский, А.С.  
- №14, с.33  
- №20, с.21  
Юкалов, В.И. - №14, с.33  
Юссонуа, М. - №19, с.45  
Яцуненко, Ю.А. - №15,  
с.25

# AUTHOR INDEX 1986

- Abaev, V.V. - No.16,  
p.42
- Abashidze, L.I.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Abdinov, O.B. - No.15,  
p.34
- Abduzhamilov, A. - No.16,  
p.11
- Abduzhamilov, Sh.  
- No.16, p.11
- Abesalashvili, L.N.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Adamovich, M.I. - No.16,  
p.11
- Amaglobeli, N.S.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Andreeva, N.P. - No.16,  
p.11
- Antonchik, V.A.  
- No.16, p.11
- Anzon, Z.V. - No.16,  
p.11
- Avetyan, F.A. - No.16,  
p.11
- Azimov, S.A. - No.16,  
p.11
- Babaev, A.Kh. - No.16,  
p.11
- Bajramov, A.A. - No.15,  
p.34
- Bakaev, V.A. - No.16,  
p.11
- Balagurov, A.M.  
- No.19, p.50
- Balandin, V.P.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Baldin, A.A. - No.17,  
p.19
- Baldin, A.M.  
- No.16, p.24
- No.17, p.19
- Bannikov, A.V.  
- No.18, p.48
- Basova, E.S. - No.16,  
p.11
- Batiunja, B.V.  
- No.16, p.24
- Bel'kov, A.A.  
- No.17, p.27
- Belousov, A.S.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Belousov, A.V.  
- No.16, p.11
- Belyaev, V.B. - No.18,  
p.18
- Berdishev, V.K.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Birulev, V.K.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Bogdanov, S.D.  
- No.16, p.11
- Bogolubov, N.N. (Jr.)  
- No.14, p.33  
- No.20, p.21
- Bohm, J. - No.18,  
p.48
- Bondarenko, A.I.  
- No.16, p.11
- Bruchertseifer, H.  
- No.19, p.45
- Bubnov, V.I. - No.16,  
p.11
- Budagov, Yu.A.  
- No.15, p.34
- Buklanov, G.V.  
- No.19, p.45
- Burilkov, D.T.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Burov, V.V. - No.15,  
p.13



- Chargeishvili, M.S.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Chasnikov, I.Ya.  
 - No.16, p.11  
 - No.19, p.16
- Chelnokov, L.P.  
 - No.19, p.45
- Cheremukhin, A.E.  
 - No.16, p.33
- Chernov, G.M. - No.16,  
 p.11
- Chernova, L.P. - No.16,  
 p.11
- Chernyavsky, M.M.  
 - No.16, p.11
- Cholakov, V.D.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Chudakov, E.A.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Chvyrov, A.S.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Costescu, A. - No.20,  
 p.16
- Danilov, V.V. - No.15,  
 p.42
- Devitsin, E.G.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Didenko, L.A. - No.16,  
 p.11
- Dolidze, M.G. - No.15,  
 p.5
- Dolya, S.N.  
 - No.15, p.25  
 - No.17, p.13
- Donets, E.D. - No.20,  
 p.27
- Dvornik, A.M. - No.15,  
 p.34
- Dzhavrishvili, A.K.  
 - No.18, p.48
- Dzhordzhadze, V.P.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Efimov, V.N. - No.14,  
 p.19
- Eligbaeva, G.Zh.  
 - No.16, p.11
- Eremenko, L.E. - No.16,  
 p.11
- Evsikov, I.I.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Fedunov, A.G.  
 - No.15, p.25  
 - No.17, p.13
- Fedyanin, V.K.  
 - No.15, p.19
- Filippov, Yu.P.  
 - No.15, p.42
- Flerov, G.N. - No.19,  
 p.45
- Flyagin, V.B. - No.15,  
 p.34
- Fomenko, A.M.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Gadzhieva, S. - No.16,  
 p.11
- Gaitinov, A.Sh.  
 - No.16, p.11
- Gitsok, M. - No.16,  
 p.11
- Gladysh, E. - No.16,  
 p.11
- Gledenov, Yu.M.  
 - No.17, p.36
- Golovin, V.M. - No.17,  
 p.13
- Golutvin, I.A.  
 - No.15, p.25  
 - No.17, p.13
- Gramenitsky, I.M.  
 - No.16, p.24
- Grigalashvili, T.S.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Grishin, V.G. - No.16,  
 p.24

- Grishkevich, Ya.V.  
- No.18, p.48
- Gulamov, K.G. - No.16,  
p.11
- Gulyamov, U.G. - No.16,  
p.11
- Gus'kov, B.N.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Haiduk, M. - No.16, p.11
- Hiller, K. - No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Hladky, J. - No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Holynsci, R. - No.16,  
p.11
- Hussonnois, M. - No.19,  
p.45
- Ivanchenko, I.M.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Ivanov, A.N. - No.14,  
p.5
- Ivanov, M.P. - No.19,  
p.45
- Kadagidze, N.O.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Kakurin, I.N.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Kalinovskiy, Yu.L.  
- No.17, p.27
- Kalyachkina, G.S.  
- No.16, p.11
- Kanygina, E.K. - No.16,  
p.11
- Kapishin, M.N.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Karabova, M. - No.16,  
p.11
- Karpenko, N.N.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Kartashov, S.V.  
- No.20, p.27
- Kekelidze, V.D.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Khabarov, V.S.  
- No.15, p.25
- Kharlamov, S.P.  
- No.16, p.11
- Kharzheev, Yu.N.  
- No.15, p.34
- Kholmatova, R.U.  
- No.16, p.11
- Khoshmukhamedov, R.A.  
- No.16, p.11
- Kirillov, D.A.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Klabuhn, Yu.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Koptev, V.P. - No.16,  
p.42
- Korobov, V.I.  
- No.19, p.40
- Korotkin, Yu.S.  
- No.19, p.45
- Kosarev, I.G.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Kozlov, V.A.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Krasnov, S.A.  
- No.16, p.11
- Krastev, V.P.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Krishchyan, V.M.  
- No.16, p.11
- Krumstejn, Z.V.  
- No.18, p.48
- Kuz'min, N.A.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Kuznetsov, A.A.  
- No.16, p.11
- Kuznetsov, I.V.  
- No.16, p.33

- Kvatadze, R.A.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Lanik, J. - No.20, p.10
- Larionova, V.G.  
 - No.16, p.11
- Lepekhn, F.G. - No.16,  
 p.11
- Leskin, V.A. - No.16, p.11  
 - No.17, p.5
- Likhachev, M.F.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Loktionov, A.A.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Lomakin, Yu.F. - No.15,  
 p.34
- Lomidze, N.L.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Lomtadze, T.A. - No.18,  
 p.48
- Lukicheva, N.S. - No.16,  
 p.11
- Lukyanov, V.K.  
 - No.15, p.13  
 - No.18, p.25
- Lykasov, G.I. - No.15,  
 p.5
- Lysyakov, V.N. - No.15,  
 p.25
- Lyubimov, A.L.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Magda, M.T. - No.17, p.41
- Majlov, A.A. - No.15,  
 p.34
- Majsuradze, P.A.  
 - No.15, p.42
- Makarov, A.N. - No.19,  
 p.6
- Maksimov, A.N. - No.19,  
 p.16
- Malakhov, A.I. - No.19,  
 p.32
- Malinovsky, E.I.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Malov, L.A. - No.16,  
 p.5
- Mamedov, I.S.  
 - No.15, p.42
- Markov, P.K.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Martines, R. - No.15,  
 p.13
- Marutyan, N.A.  
 - No.16, p.11
- Maslennikova, N.V.  
 - No.16, p.11
- Melitauro, G.V.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Melkumov, G.L.  
 - No.19, p.32
- Merekov, Yu.P.  
 - No.18, p.48
- Metreveli, Z.V.  
 - No.16, p.11
- Micelmacher, G.V.  
 - No.19, p.24  
 - No.20, p.4
- Mirkhodzhaeva, D.  
 - No.16, p.11
- Mironova, G.M.  
 - No.19, p.50
- Mitrikov, M.P.  
 - No.17, p.36
- Mitrikova, R.S.  
 - No.17, p.36
- Mojsenz, P.V.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Morozov, A.N.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Mzhavia, D.A.  
 - No.19, p.24  
 - No.20, p.4
- Navotnyi, V.Sh.  
 - No.16, p.11



- Nguyen Dinh Vinh.  
     - No.16, p.5  
 Nguyen Hung Son. - No.17,  
     p.32  
 Nguyen Van Hieu. - No.17,  
     p.32  
 Nichitiu, F. - No.16,  
     p.42  
 Nikobadze, G.I.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Nikolaev, V.A. - No.14,  
     p.28  
 Novak, M. - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Nowak, H. - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Nowak, S. - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Orlova, G.I. - No.16,  
     p.11  
 Osipov, V.A. - No.15,  
     p.19  
 Ostroumov, V.I. - No.16,  
     p.11  
 Ovsyannikov, V.P.  
     - No.20, p.27  
 Pal'chik, V.V.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Pashkevich, V.V. - No.16,  
     p.19  
 Pavlovskaya, V.V.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Pchel'nikov, Yu.N.  
     - No.15, p.42  
 Pere'shtein, E.A.  
     - No.16, p.33  
 Pere'lygin, V.V.  
     - No.15, p.25  
     - No.17, p.13  
 Pervashin, V.N. - No.17,  
     p.27  
 Petrov, M.V. - No.19,  
     p.16  
 Petrov, V.I. - No.16, p.11  
 Petrukhin, V.I.  
     - No.18, p.48  
 Phung Van Duan.  
     - No.17, p.36  
 Piska, K. - No.18,  
     p.48  
 Pitskhelauri, T.G.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Pop, A. - No.17, p.41  
 Popov, A.B. - No.18,  
     p.30  
 Popov, Yu.P. - No.17,  
     p.36  
 Pose, A.V.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Pose, D.  
     - No.15, p.25  
 Potashev, S.Yu.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Potrebenikov, Yu.K.  
     - No.19, p.16  
 Progulova, T.B.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Prokes, A.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Puzynin, I.V.  
     - No.19, p.40  
 Radescu, E.E.  
     - No.20, p.16  
 Ravvina, E.A.  
     - No.16 p.11  
 Razuvakin, V.N.  
     - No.16, p.33  
 Roca, E. - No.14,  
     p.28  
 Rusakov, S.V.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16  
 Ryseck, H.-E.  
     - No.19, p.6  
     - No.19, p.16

- Safarik, K. - No.18,  
p.48
- Saidkhanov, N.Sh.  
- No.16, p.11
- Salatski, V.I.  
- No.17, p.36
- Salomov, J.A. - No.16,  
p.11
- Samosvat, G.S. - No.18,  
p.30
- Sandulescu, A.  
- No.16, p.19  
- No.17, p.41  
- No.18, p.37
- Sarkisova, L.G. - No.16,  
p.11
- Sarkisyan, V.F. - No.16,  
p.11
- Schejd, W. - No.18,  
p.37
- Scutaru, H. - No.18,  
p.37
- Semenyushkin, A.I.  
- No.15, p.25
- Serdamba, L. - No.16,  
p.11
- Shabratova, G.S.  
- No.16, p.11
- Shakhova, Tz.I. - No.16,  
p.11
- Shalyapin, V.N. - No.18,  
p.57
- Shanidze, R.G.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Sharo, Sh. - No.19, p.45
- Shelkov, G.A. - No.18,  
p.48
- Shirkov, G.D. - No.16,  
p.33
- Shtarkov, L.N.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Shumovsky, A.S.  
- No.14, p.33  
- No.20, p.21
- Silesh, E. - No.16,  
p.11
- Silvestrov, L.V.  
- No.14, p.9
- Simonov, B.B. - No.16,  
p.11
- Slepets, L.A.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Slusareva, V.B.  
- No.19, p.6
- Smijanska, M.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Smirnov, N.A.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Smirnov, V.I. - No.19,  
p.45
- Smolin, D.A. - No.15,  
p.25
- Sokol, E.A. - No.19,  
p.45
- Soloviev, V.G.  
- No.16, p.5
- Soloviev, Yu.V.  
- No.19, p.6  
- No.19, p.16
- Solovtsova, O.P.  
- No.18, p.18
- Stavinskij, V.S.  
- No.18, p.5
- Stoyanova, I.S.  
- No.15, p.19
- Sultanov, G.G. - No.19,  
p.16
- Sumbaev, A.P. - No.16,  
p.33
- Svechnikova, L.N.  
- No.16, p.11
- Sviridov, V.A.  
- No.15, p.25  
- No.17, p.13
- Tachtamyshev, G.G.  
- No.19, p.6

- Tatishvili, G.T.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Ter-Akopian, G.M.  
 - No.19, p.45
- Terkulov, A.R.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Tikhomirov, V.V.  
 - No.15, p.25  
 - No.17, p.13
- Timokhin, V.A. - No.16,  
 p.33
- Tkebuchava, F.G.  
 - No.19, p.24
- Todorov, P.T.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Togoo, R. - No.16, p.11
- Tolstov, K.D.  
 - No.16, p.11  
 - No.17, p.5
- Topor, V. - No.16, p.11
- Totova, M. - No.16, p.11
- Tran Quang. - No.20,  
 p.21
- Trayanov, R.K.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Tret'yakova, M.I.  
 - No.16, p.11
- Trofimova, T.P.  
 - No.16, p.11
- Troitskaya, N.I. - No.14,  
 p.5
- Tsakhadze, Eh.G.  
 - No.18, p.48
- Tsovbun, V.I.  
 - No.15, p.25  
 - No.17, p.13
- Turaev, M.T. - No.14,  
 p.33
- Tuvdendorzh, D. - No.16,  
 p.11
- Tyutyunnikov, S.I.  
 - No.18, p.57
- Vasdyk, Ya.A.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Vertogradov, L.S.  
 - No.18, p.48
- Vetsko, M.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Vinitsky, S.I.  
 - No.19, p.40
- Vlasov, N.V.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Vokal, S. - No.16,  
 p.11
- Volkov, M.K. - No.14,  
 p.5
- Volter, V. - No.16,  
 p.11
- Vosek, B. - No.16,  
 p.11
- Yatsunencko, Yu.A.  
 - No.15, p.25
- Yukalov, V.I. - No.14,  
 p.33
- Zarubin, A.V.  
 - No.15, p.25  
 - No.17, p.13
- Zavertyaev, M.V.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Zayachky, V.J.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Zeinalov, Sh.S.  
 - No.19, p.45
- Zhiltsov, V.E.  
 - No.15, p.25  
 - No.19, p.13
- Zhumanov, A. - No.16,  
 p.11
- Zinchenko, A.I.  
 - No.19, p.6  
 - No.19, p.16
- Zvarova, T.S. - No.17,  
 p.36