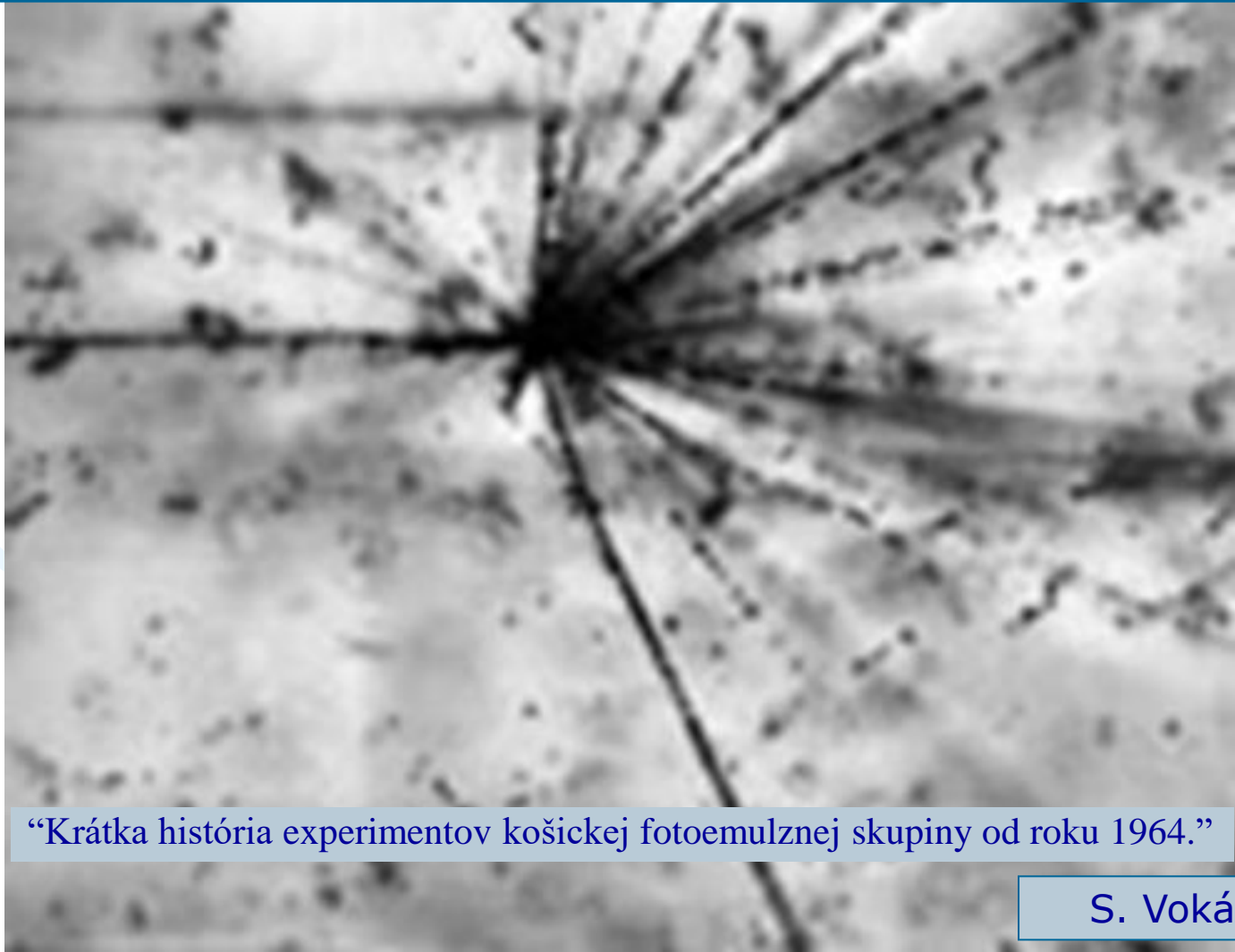


Zlatý vek emulzných experimentov na PF



“Krátka história experimentov košickej fotoemulznej skupiny od roku 1964.”

S. Vokál

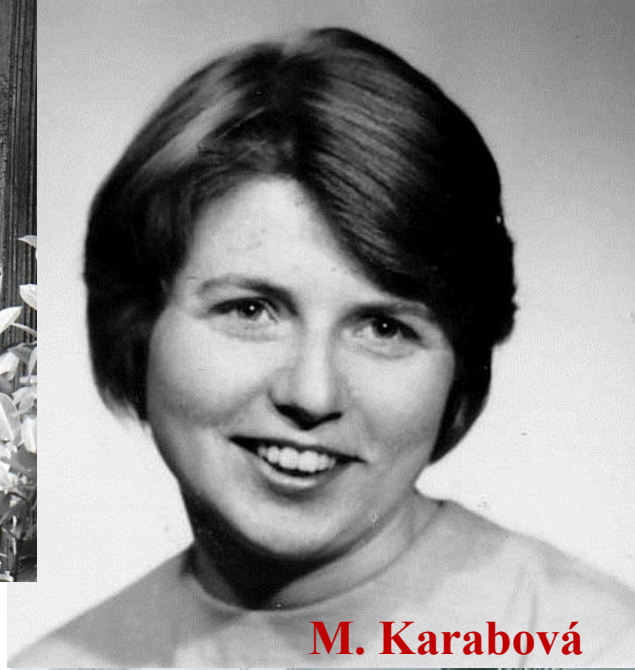
1963 - 64

- PF
- SÚJV
- FÚ ČSAV
- FTaJF ČVUT

Fotoemulzné laboratórium



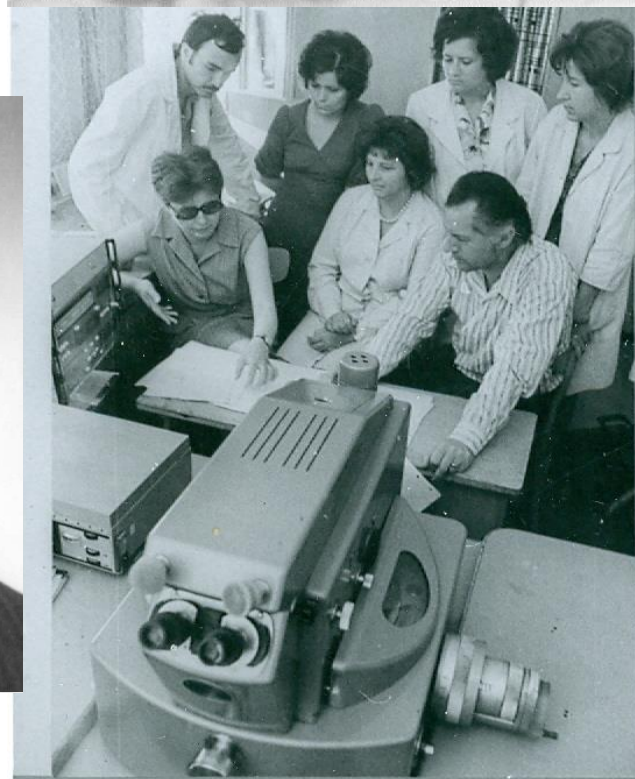
J. Dubinský, V. Petržilka, J. Sedlák, J. Tuček



M. Karabová

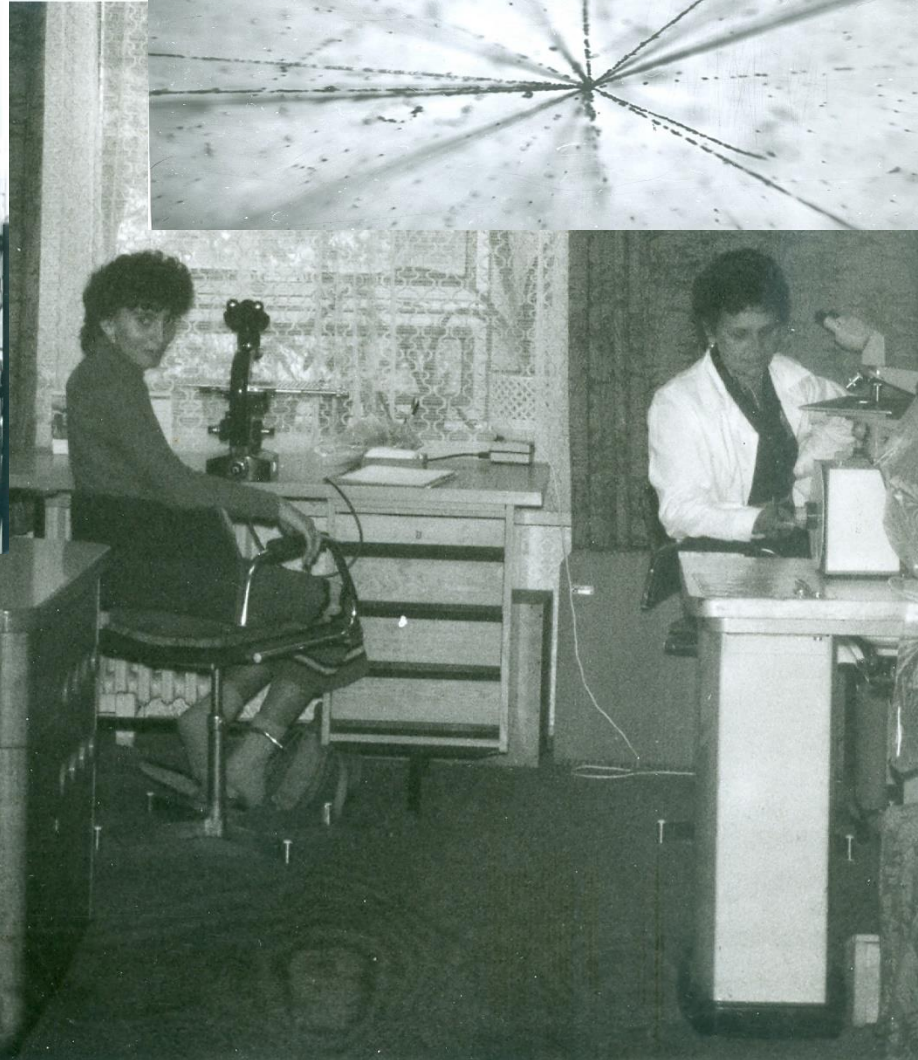
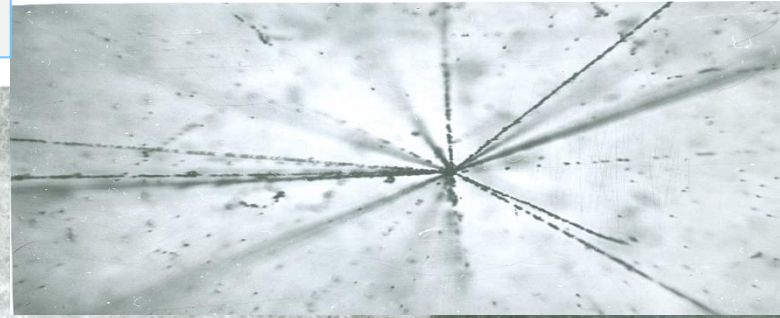


E. Síleš



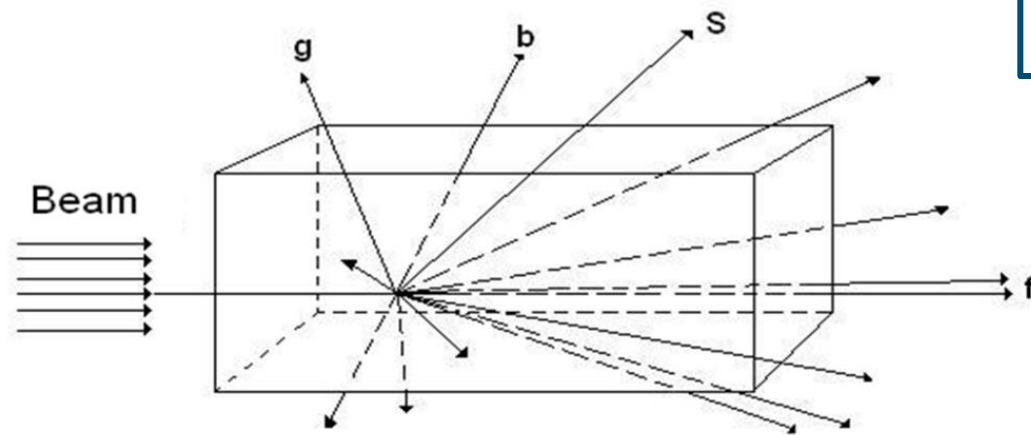
Vývoj a realizácia poloutomatického snímania dát pri geometrických meraniach s pomocou aparatúry **EMULSON** vyvinutej a vyrobenej v Košiciach r. **1978**.

Fotoemulzné laboratórium



Náš emulzný detektor

$$\eta = -\ln\left(\tan\frac{\theta}{2}\right)$$

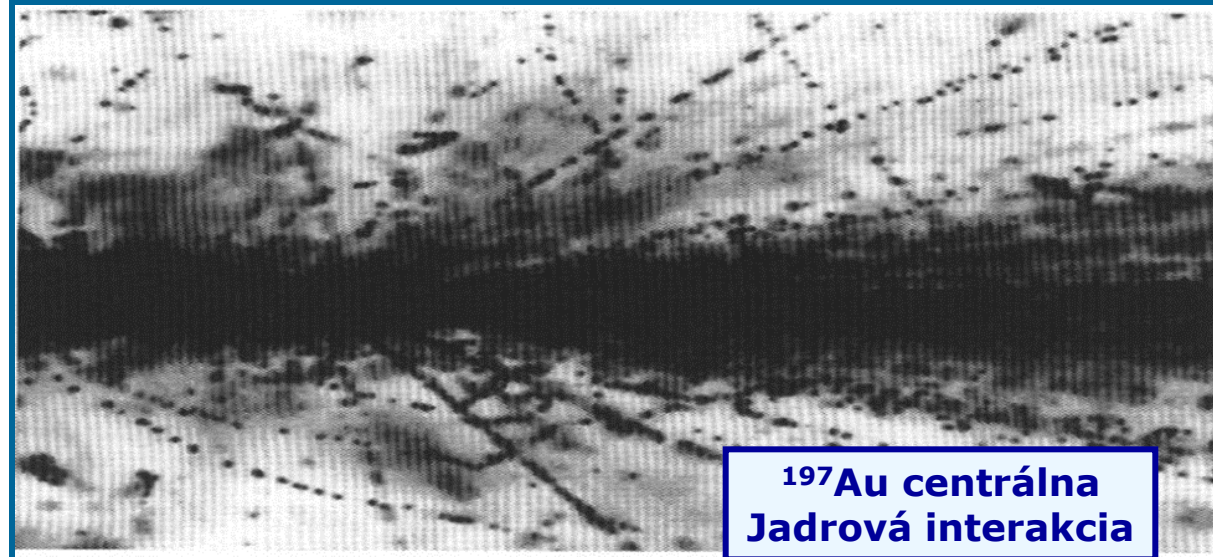


Experiment:

- ✓ registrácia produkcie jednotlivých nabitých relativistických fragmentov primárneho a terčového jadra **súčasne** s emisiou nových častíc v 4π – geometrii
- ✓ určenie multiplicit a typov sekundárnych nabitých častíc podľa prijatej fotoemulznej klasifikácie
- ✓ meranie ich uhlov emisie, nábojov a hybností vzhľadom na smer letu primárneho vysokoenergetického jadra
- ✓ príprava DST
- ✓ analýza experimentálneho materiálu a modelové výpočty



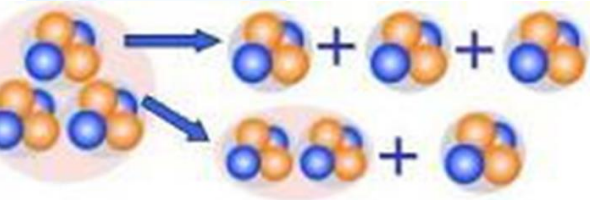
^{12}C centrálna
jadrová interakcia



^{197}Au centrálna
Jadrová interakcia

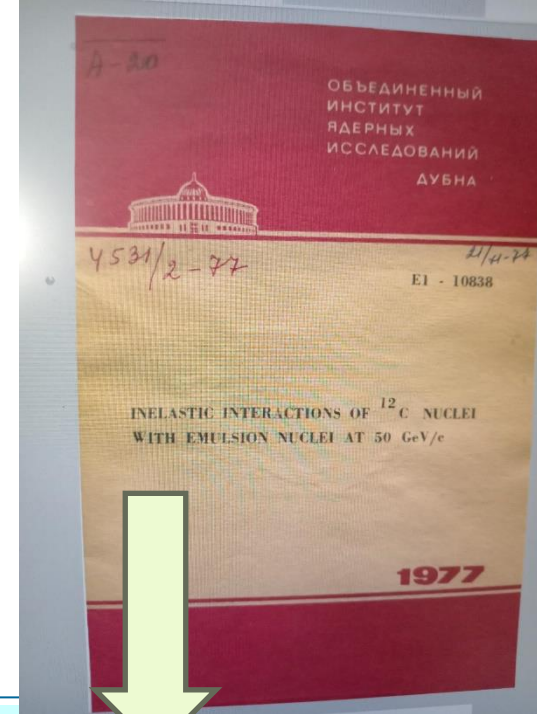
Môj prvý experiment

1. **A.Marin, ..., S.Vokál, ...**
Vzaimodejstviya jader ^{12}C s impul'som 4.5 GeV/c na nukleon s jadrani fotoemulsii i kaskadno-isparitel'naja model' jadro-jadernych soudarenij.
Jadernaja fizika, t.29, vyp.1, 1979, s.105-116.
2. **M.Karabová, ..., S.Vokál, ...**
Nizkoenergetičeskije častici v zvezdach obrazov. jadrani ^{12}C s impul'som 50 GeV/c.
Jadernaja fizika, t.28, vyp.2(8), 1978, s.435-438.
3. **A.Marin, ..., S.Vokál, ...**
Izučeniye korrelacij meždu vtoričnymi časticami obrazovannymi v neuprugich soudarenijach relativistskich jader ugleroda s jadrani fotoemul'sii.
Jadernaja fizika, t.32, vyp.5(11), 1980, s.1379-1386.



The $^{12}\text{C} \rightarrow 3\alpha$ dissociation.

- The events characterized by the presence of only 3 charged secondaries, each being emitted at an angle of $\theta \sim 3^\circ$ and with charge $Z = 2$ (determined by δ -electron density method).
- **20 events** of such a type were selected out of 852 inelastic $^{12}\text{C}+\text{A}$ interactions, and additional **8 events** were found in the course of further scanning.



1975 - 1980

Naše experimentálne dáta

Primary nucleus	Momentum A GeV/c	Number of events	Accelerator
^1H	4.5	2576	JINR
^2H	4.5		JINR
^4He	4.1	4028	JINR
^{12}C	4.5	1006	JINR
^{16}O	4.5	2823	JINR
^{22}Ne	4.1	4308	JINR
^{28}Si	4.5	1322	JINR
^{32}S	4.5	1318	JINR
^{16}O	14.6	689	BNL-AGS
^{28}Si	14.6	1093	BNL-AGS
^{16}O	60	834	CERN-SPS
^{16}O	200	801	CERN-SPS
^{32}S	200	1121	CERN-SPS
^{40}Ar	1.0-1.2	508	Berkeley
^{84}Kr	0.8-0.95	877	GSI-SIS
^{197}Au	11.6	1185	BNL-AGS
^{208}Pb	158	628	CERN-SPS

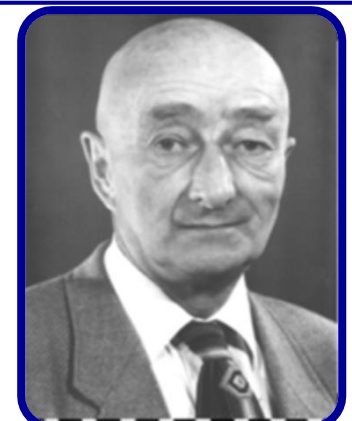


Jadrové fotoemulzie boli ožiarené horizontálne zväzkami atomových jadier na urýchľovačoch v BNL, GSI, JINR a CERN.

- Multiplicity a uhlové charakteristiky sekundárnych nabitých častíc.
- Fragmentácia relativistických jadier.
- Kolektívne chovanie jadrovej látky
- Fluktuácie v produkcii častíc

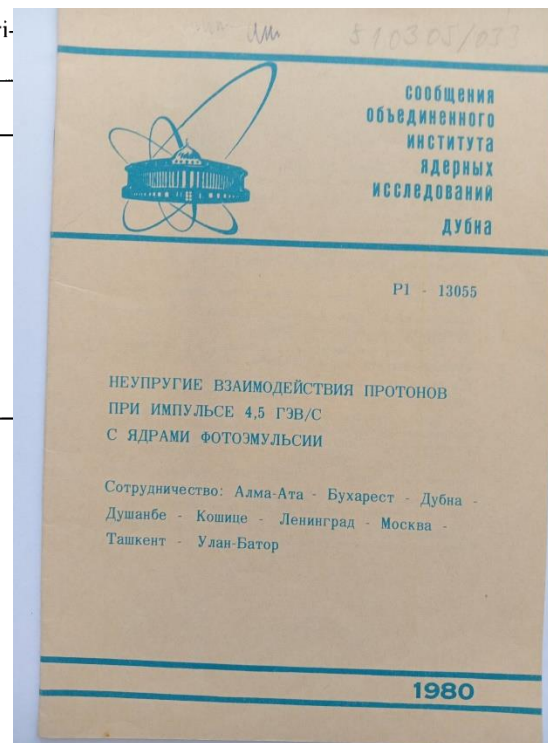
Emulzné experimenty realizované v spolupráci s SÚJV Dubna a Univerzitou v Lunde (Švédsko)

**Tolstov
K.D.**



Môj druhý experiment

ps of pA interactions in emulsion at 4.5 GeV/c in compari-



Group of events	$\langle n_s \rangle$	$\langle n_g \rangle$	$\langle n_h \rangle$	Number of events	
All pA collisions	1.63 ± 0.02	2.81 ± 0.06	3.77 ± 0.08	2576	exp
	1.75	2.71	3.29	4879	CEM
Events with $n_h \leq 6$	1.68 ± 0.03	1.21 ± 0.03	1.39 ± 0.04	1602	exp
	1.80	1.14	1.00	3014	CEM
Events with $6 < n_h \leq 15$	1.66 ± 0.04	4.40 ± 0.08	5.96 ± 0.09	689	exp
	1.78	4.41	5.72	1440	CEM
Events with $n_h > 15$	1.29 ± 0.06	7.96 ± 0.15	11.8 ± 0.2	285	exp
	1.31			425	CEM

1979 - 1981



Czech.J.Phys., vol.B31, 1981, p.490-498.

Acta Phys.Slov., t.32, No.5, 1982, p.265-273.

Z. Phys. A - Atoms and Nuclei 302, 133-142 (1981)

Nuclear Interactions of 4.5 GeV/c Protons in Emulsion and the Cascade-Evaporation Model

- o My first emulsion experiment in JINR.
- o I worked closely with Tolstov, Bannik, Shabratova and Sumera.

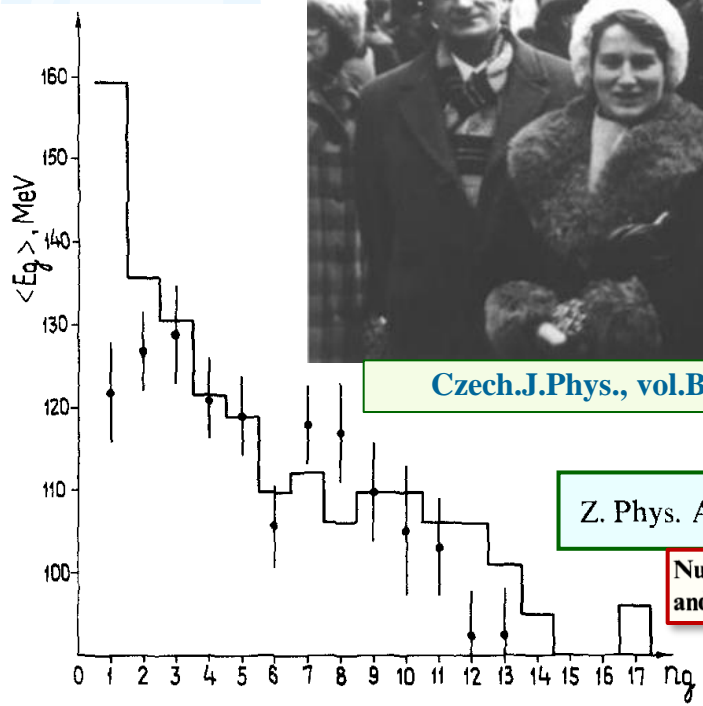
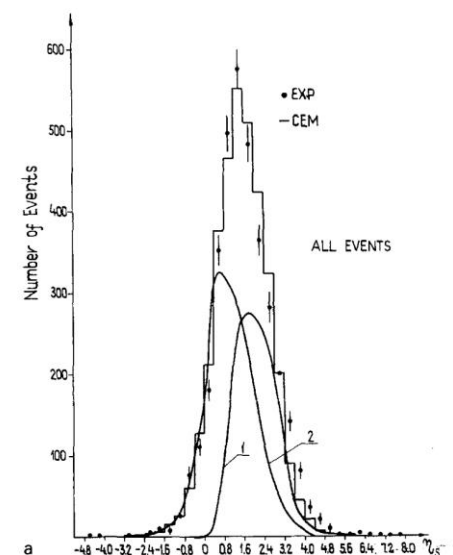


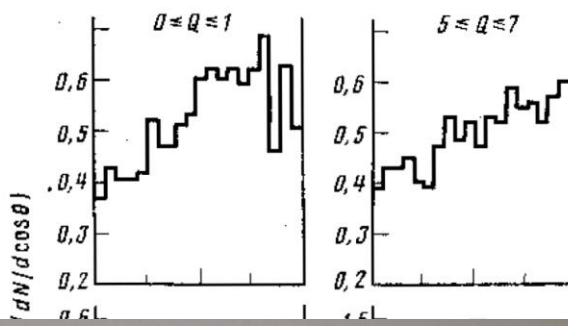
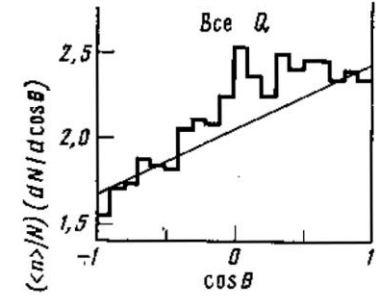
Fig. 10. Average energy of g-particles as a function of the multiplicity n_g .



a

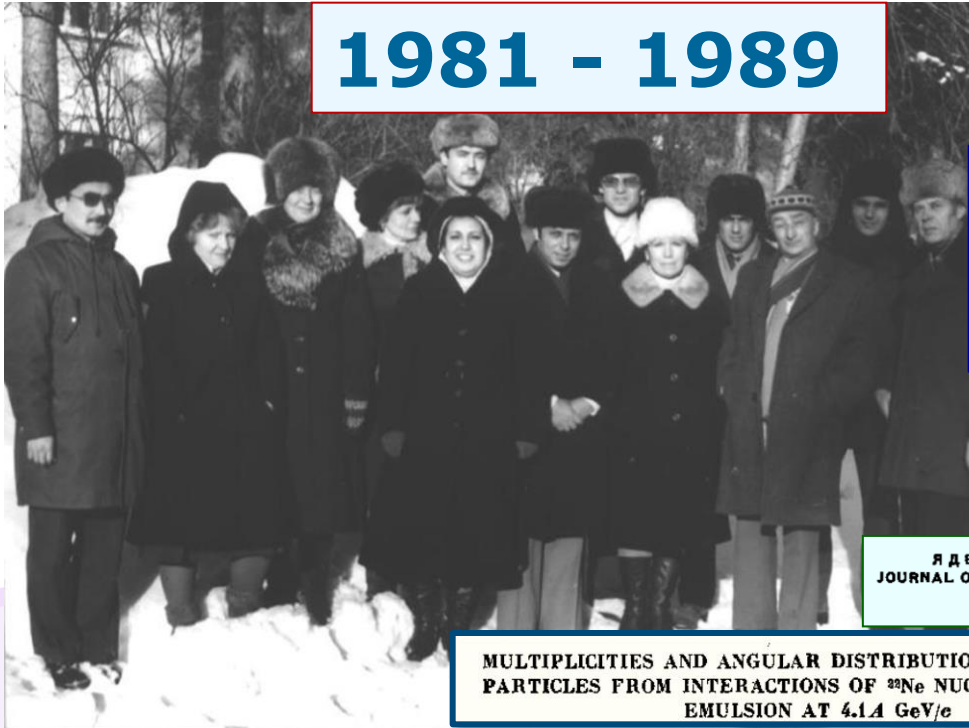
Môj tretí experiment

их релятивистских
льсии



Взаимодействие	$\langle n_s \rangle$	$\langle n_b \rangle$	$\langle n_g \rangle$
pEm	1,6±0,1 (1,8) *	3,8±0,1 (3,3)	2,8±0,1 (2,7)
⁴ HeEm	3,4±0,1 (4,3)	4,7±0,2 (5,6)	4,6±0,2 (5,5)
¹² CEm	7,6±0,2 (8,3)	4,3±0,2 (4,7)	5,9±0,3 (7,3)
²² NeEm	10,53±0,05 (10,8)	4,22±0,03 (4,6)	6,32±0,04 (7,7)

1981 - 1989



¹H
²H
⁴He
¹²C

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА
JOURNAL OF NUCLEAR PHYSICS
т. 45, вып. 1, 1987

MULTIPLICITIES AND ANGULAR DISTRIBUTIONS OF CHARGED PARTICLES FROM INTERACTIONS OF ²²Ne NUCLEI IN NUCLEAR EMULSION AT 4.1A GeV/c

Краткие сообщения ОИЯИ №12-85 JINR Rapid Communications No.12-85
УДК 539.171.017

НЕУПРУГИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ЯДЕР НЕОНА-22
С ЯДРАМИ В ФОТОЭМУЛЬСИИ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 90 ГэВ/с
А. Вокалова, С.А.Краснов, К.Д.Толстов, Г.С.Шабратова
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Н.П.Андреева, Э.В.Анзон, В.И.Бубнов, А.Ш.Гайтинов,
Л.Е.Еременко, Г.С.Калячкина, Э.К.Каныгина, А.М.Сейтимбетов,
И.Я.Часников, Ц.И.Шахова
Институт физики высоких энергий АН КазССР, Алма-Ата

М.Гицок, В.Топор, М.Хайдук
Центральный институт физики, Бухарест

Ф.Г.Лепехин, Б.Б.Симонов
Ленинградский институт ядерной физики, Гатчина

Р.А.Хошмухамедов
Таджикский государственный медицинский институт, Душанбе

В.А.Лескин
Физико-технический институт АН ТаджССР, Душанбе

Дж.А.Саломов
Таджикский государственный университет, Душанбе

Ф.А.Аветян, В.М.Крищян, Н.А.Марутян, Л.Г.Саркисова,
В.Ф.Саркисян
Ереванский физический институт

С.Вокал, М.Карабова, Э.Силеш, М.Тотова
Университет Кошице, ЧССР

Э.Гладыш, Р.Хольнский

Polovica 80-tych rokov v LVE JINR. (Zl'ava doprava):
A. Muchtorov a T. Maksimkina (Tadžikistan), A.M. Sosulnikova, E.T. Sadilova
a S. Vokál (LVE), Nagua a Abdalla (Egypt), M. Šumbera (Česko), I.I.
Sosulnikova (LVE), hosť z Tadžikistanu, **K.D. Tolstov (LVE)**, V. Leskin
(Tadžikistan) a I.S. Marin (LVE)

$^{22}\text{Ne} + \text{Em}$

4,1 A GeV/c

Ako zmerať prípady AA-zrážky s rôznymi stupňami dezintegrácie zrážajúcich sa objektov?

$$N_{\text{int}} = A_{\text{pr}} - (A_{\text{pr}}/Z_{\text{pr}}) \cdot Q$$

— Všetky eventy

- $N_h < 7$

-- $7 \leq N_h \leq 27$

... $N_h > 27$

$$N_{\text{int}} = 4,48 \pm 0,03$$

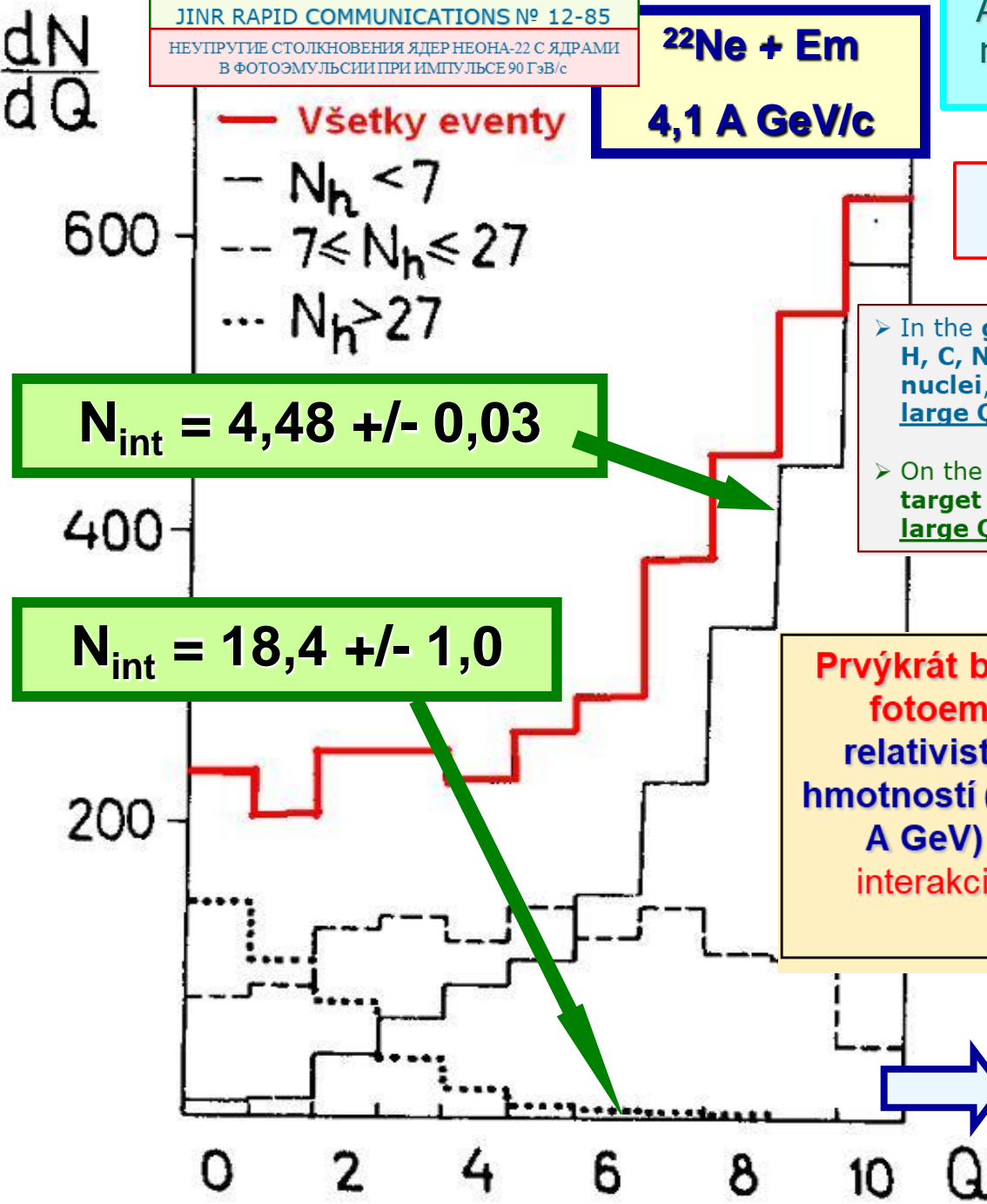
$$N_{\text{int}} = 18,4 \pm 1,0$$

➤ In the **group $N_h < 7$** , which characterizes ^{22}Ne collisions with H, C, N, O nuclei and peripheral collisions with Ag, Br nuclei, a **high probability of fragment emission with large Q values** can be seen ($N_{\text{int}} = 4.48 \pm 0.03$).

➤ On the contrary, in cases of complete disintegration of target nuclei with $N_h \geq 28$, **yields of fragments with large Q are strongly suppressed** and $N_{\text{int}} = 18.4 \pm 1.0$.

Prvýkrát boli zmerané a analyzované jednotnou fotoemulznou metódou prípady interakcií relativistických jadier v širokom rozsahu ich hmotností (od ^{12}C do ^{208}Pb) a energií (od 1 do 200 A GeV) a študované oddelene prípady AA-interakcií **s rôznymi stupňami dezintegrácie zrážajúcich sa objektov**

silná korelácia medzi stupňami dezintegrácie zrážajúcich sa jadier N_h a Q



Anomalons - 1984

Over the past years, in experimental and theoretical studies, much attention was paid to the problem of **anomalons** - anomalously interacting relativistic fragments of projectile nuclei. Anomalons are assigned cross sections that significantly exceed the usual cross sections of nuclei of the corresponding atomic weights.

- The first indications of the existence of anomalons were obtained in experiments carried out by the method of nuclear photographic emulsions.
- In these works (Friedlander, Jain, Barber, 1980-82), it was stated that **the mean free path of fragments of projectile nuclei, determined on the first centimeters of the path from the parent star, is noticeably less than what is obtained far from it**, or, which beam nuclei of the same charge and momentum have.
- The effect of a decrease in the mean free path near the birthplace of secondary fragments was usually interpreted as the presence among them of a certain fraction of nuclei /anomalons.

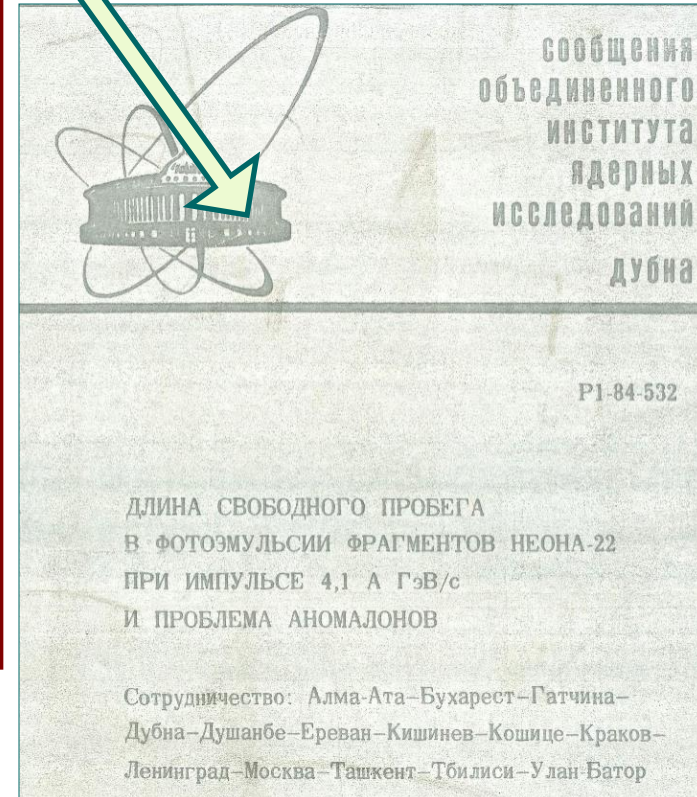


Bannik B.P. et al. P1-84-532
Free Path Length of Neon-22 Fragments in Photoemulsion
at 4.1 A GeV/c Momentum and Anomalon Problem

The problem of anomalons is investigated on 6053 secondary interactions of projectile nucleus fragments with charges from 3 to 10 found in nuclear photoemulsion, exposed in neon-22 beam at 4.1 GeV/c per nucleon. No statistically meaningful variations of the mean free paths prior to inelastic interactions versus distances covered by the fragments were found as in case of single charge events as for their sum. The boundary of allowed by that statistics region of stable anomalon existence is estimated on the 1% coexistence level by the method of maximum likelihood.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1984



Б.П.Банник, Ю.Л.Батусов, Л.Н.Бокова, А.Вокалова»
О.М.Кузнецов, В.В.Люков, О.В.Пискалева, К.Д.Толстов,
В.И.Третьяк, Г.С.Шабратова



Život na katedre a mimo nej ...



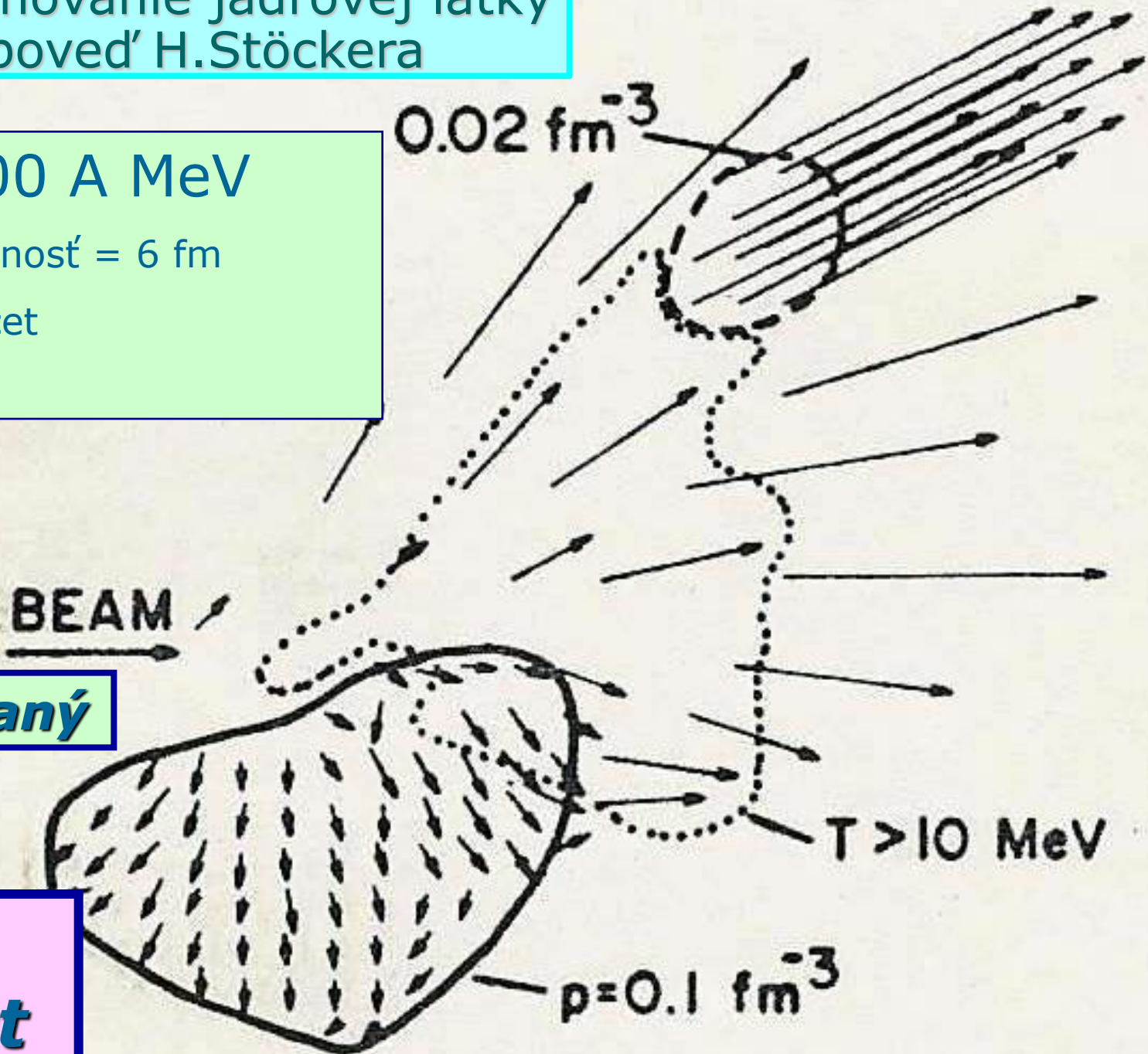
Kolektívne chovanie jadrovej látky - predpoveď H.Stöckera

Ne + U, 400 A MeV

Zámerná vzdialenosť = 6 fm

Teoretický výpočet

H. Stöcker



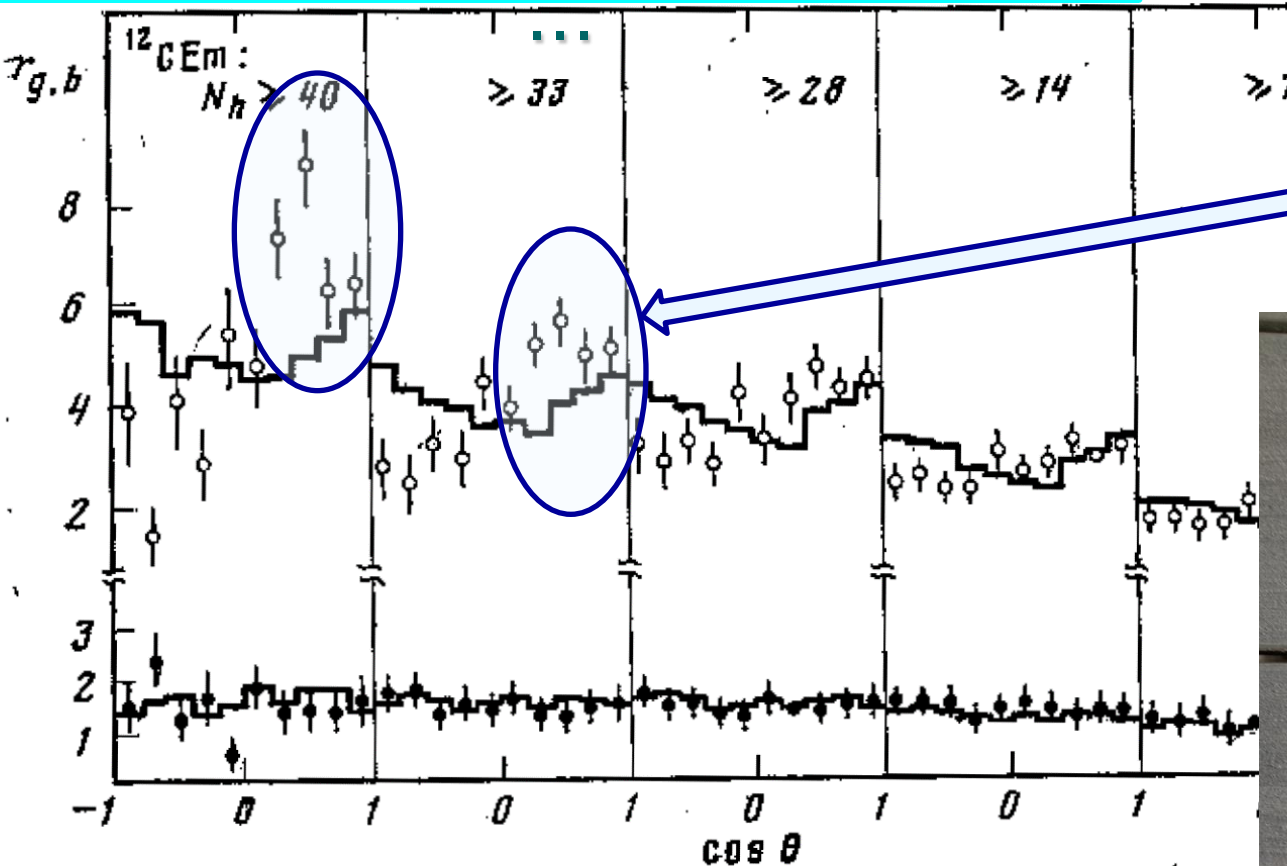
Predpovedaný

Bounce-off effect

Kolektivne efekty v AA-zrážkach?

УГЛОВЫЕ СПЕКТРЫ ВТОРИЧНЫХ ЧАСТИЦ
ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПРОТОНОВ И ЯДЕР УГЛЕРОДА
С ЯДРАМИ ФОТОЭМУЛЬСИИ ПРИ $p_0 = 4,5 \text{ АГэВ/с}$
ВОКАЛ С., ШУМБЕРА М.

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА
JOURNAL OF NUCLEAR PHYSICS
т. 39, вып. 6, 1984



It was found that the yield of g-particles at emission angles about (50-80) degrees is essentially higher in ^{12}C than in ^1H induced collisions with Ag(Br).

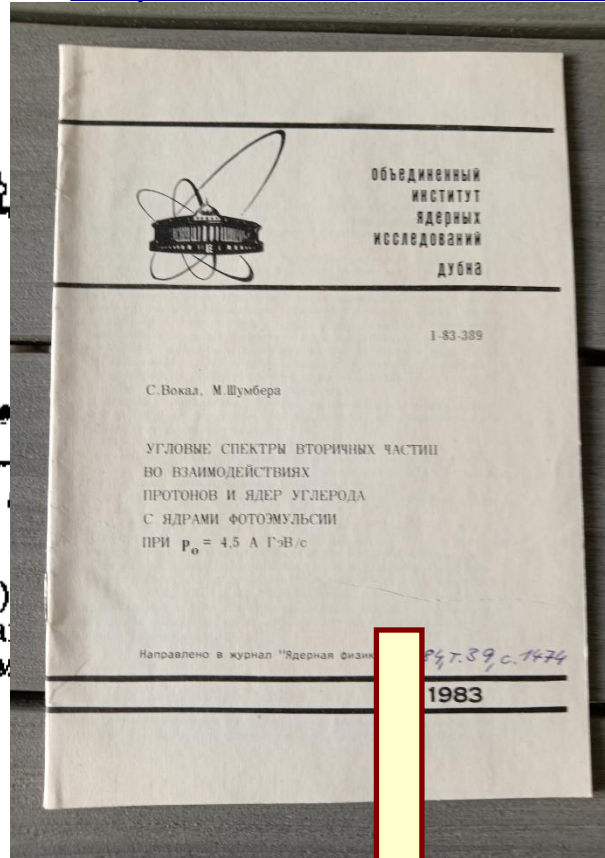


Рис. 6. Отношения инклюзивных распределений g (○)- и b (●) $^{12}\text{C}(\text{Br}, \text{Ag})$ – соударениях с различным числом N_h (указаны на рисунке) к $^1\text{H}(\text{Br}, \text{Ag})$ -соударениям с $N_h \geq 7$ в зависимости от $\cos \theta_{g,b}$. Гистограммы по КИМ

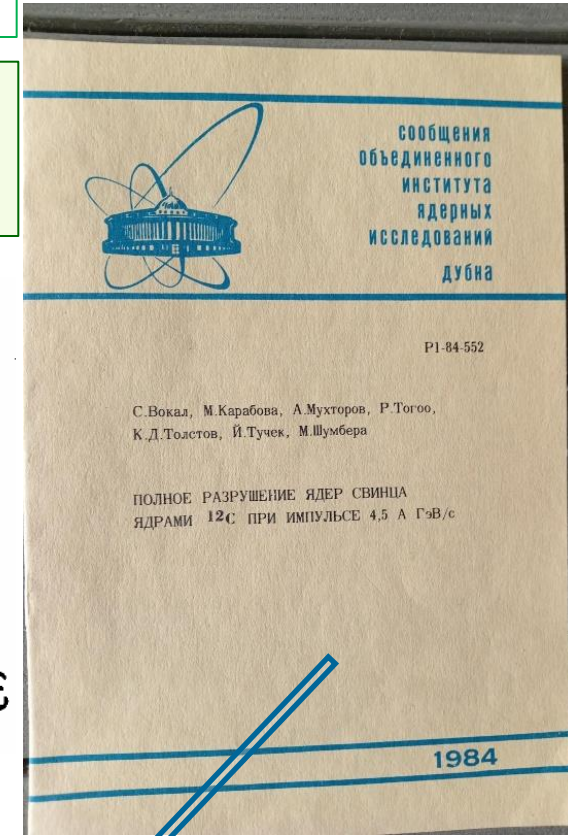
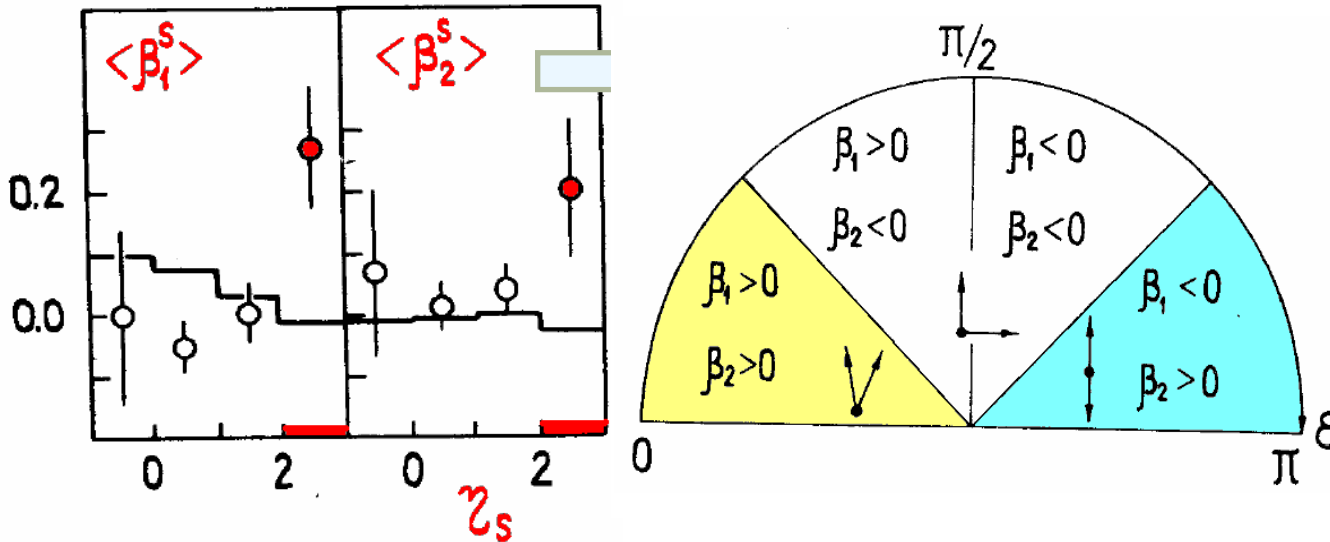
- The shape of the spectrum in CEM is approximately the same for arbitrary values of N_h .
- This points to the possibility that, simultaneously with the cascade mechanism, another **collective mechanism** is also implemented, allowing to explain the increased emission of g-particles

In the next, we intensively continued search for signals of the collective behavior of nuclear matter in our experiments.

Prvá ukážka vhodnosti emulzného detektora na registráciu kolektívnych efektov.

Analýza azimutálnych korelácií v centrálnych interakciách $^{12}\text{C} + \text{Pb}$ pri 3,7 A GeV

Vypočítané: Koeficienty **azimutálnej asymetrie a kolinearity** v individuálnych eventoch a uhol Φ_{sh} medzi celkovými vektormi zostrojenými z jednotkových vektorov v smere pričných hybností častíc v skúmaných skupinách (tj. uhol medzi smermi emisie dvoch skupín častíc z jedného aktu jadrovej zrážky).



- Existujú eventy s vysokým stupňom kolinearity ($\beta_2 > 0$) v oblasti $\eta_s = (2-3)$, kde je veľký vklad protónov z primárneho jadra. Ak to je dôsledok zachovania celkovej pričnej hybnosti v tejto skupine častíc, očakávali by sme $\beta_1 < 0$.
- IV skutočnosti je situácia iná, je tu veľký vklad prípadov s $\beta_1 > 0$.
- Na rozdiel od experimentu CEM predpovedá úplnu **izotropiu** v tejto oblasti (pravdepodobne v dôsledku veľkého počtu vnútrojadrových zrážok).
- Navyše, pre vybrané eventy s $\beta_2 > 0$ (pre $\eta = 2-3$), **tendencia emisie s- a h-častíc do opačných smerov sa zväčšuje** v porovnaní s prípadmi keď je $\beta_2 < 0$.
- **Tieto efekty ukazujú na možný prejav hydrodynamických efektov predpovedaných Stockerom.**

β_2^s $\eta_s \in (2,3)$	β_1^s $\eta_s \in (2,3)$	$\langle \Phi_{\text{sh}} \rangle - \pi/2$ $\eta_s \in (2,3)$ $\Phi_{\text{sh}} = \text{ALL}$	β_1^s $\eta_s \notin (2,3)$	β_2^s $\eta_s \notin (2,3)$
> 0	0.47 ± 0.18	0.51 ± 0.15	0.00 ± 0.02	0.02 ± 0.02
< 0	-0.02 ± 0.11	0.33 ± 0.18	0.00 ± 0.02	0.02 ± 0.02

Metóda jednotkových vektorov

Z jednotkových vektorov v smere emisie fragmentov danej grupy boli skonštruované ich výsledné vektory, ktoré zvierajú so smerom primárneho zväzku tzv. uhol toku.

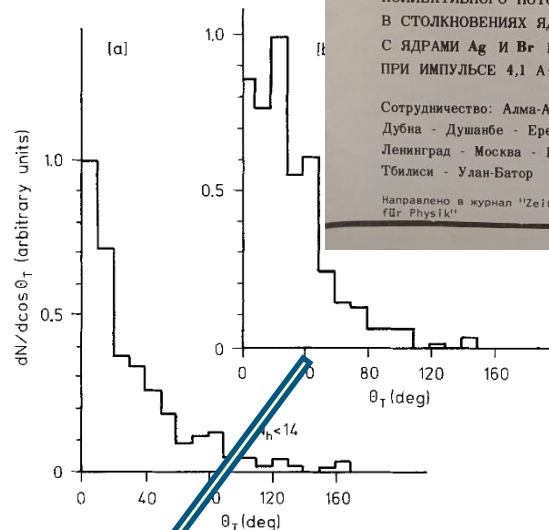
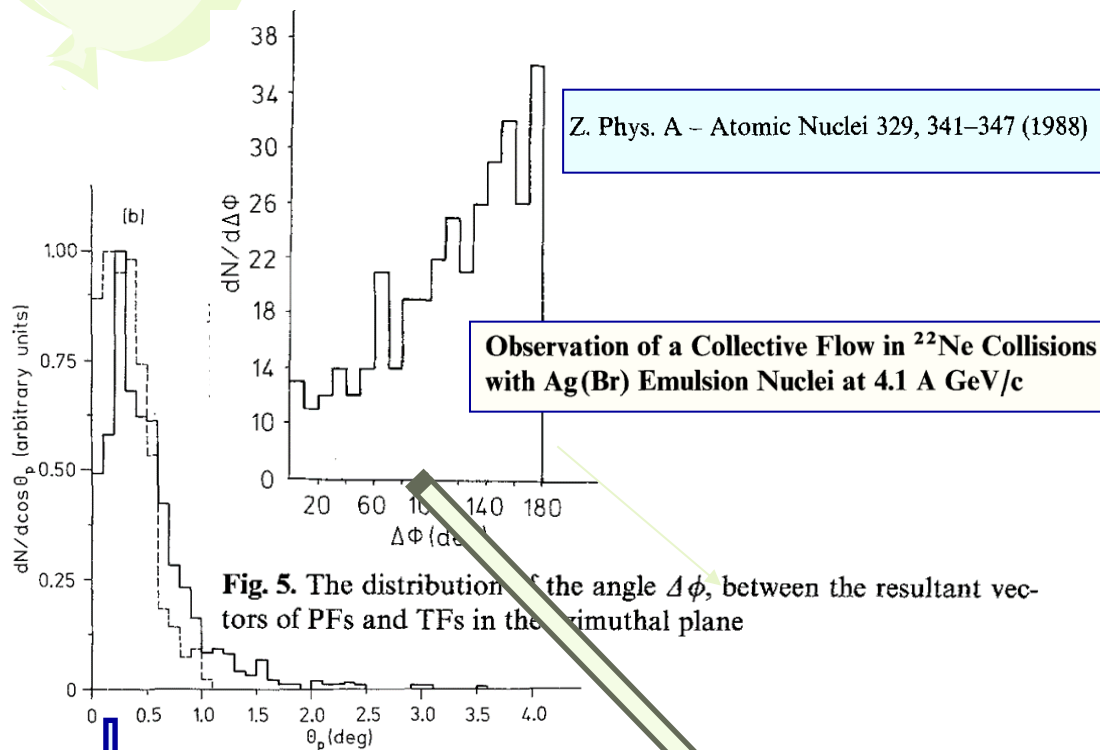
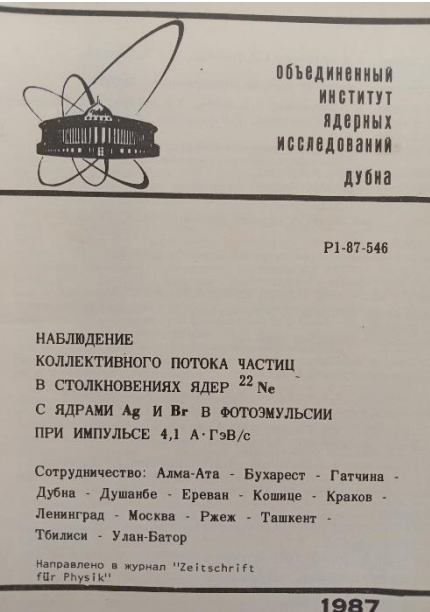


Fig. 4a and b. The $dN/d \cos \theta_T$ distributions versus θ_T : a for $N_k < 14$ events and b for $N_k \geq 14$ events

Fig. 3a and b. The angular distributions of the PF resultant vector: a $dN/d\theta_p$ versus θ_p , the distributions are normalized to one hundred; b $dN/d \cos \theta_p$ versus θ_p , the value of $dN/d \cos \theta_p$ is in arbitrary units

Uhly toku TF sa zväčšujú pri zmenšení zámiernej vzdialenosti.

Uhly toku fragmentov primárneho jadra sú nenulové a väčšie ako vypočítané podľa KEM.

- Azimutálne uhlové korelácie medzi PF a TF, $\Delta\Phi = I\Phi_P - \Phi_T I$, ukazujú, že výsledné vektory V_P a V_T majú tendenciu byť emitované v protismere.
- Tieto výsledky boli v zhode s experimentami Plastic Ball a Streamer Chambers a tiež s modelovými hydrodynamickými výpočtami.

$$\vec{Q} = \sum_{j=1}^{N_{fr}} \omega_j A_j \vec{P}_{t,j}$$

$$j \neq i$$

$$P_x/A = (\vec{P}_t \cdot \vec{Q}) / |\vec{Q}|$$

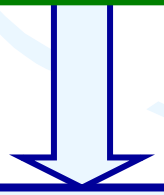
Metóda projekcie P_x/A priečných hybností P_t relativistických fragmentov do reakčnej roviny zrážky (R.P.).

P. Danielewicz and G.Odyniec, 1985

Momentum [A GeV/c]	Beam	$\langle P_x/A \rangle$, A MeV/c	
1.55	⁸⁴ Kr	23.6 ± 2.3	0.6
4.1	²⁴ Ne	16.1 ± 2.6	0.8
4.5	¹⁶ O	12.8 ± 2.8	-0.7
4.5	²⁸ Si	6.1 ± 2.3	0.1
4.5	³² S	18.4 ± 2.1	1.3
11.6	¹⁹⁷ Au	32.0 ± 1.8	-0.2
14.6	²⁸ Si	7.2 ± 2.5	0.5

EXP ME

Ak P_t náhodne rozdelené v azim.rovine --> $\langle P_x/A \rangle \sim 0$
 Ak smerový tok častíc --> $\langle P_x/A \rangle \neq 0$



Experimentálne dáta sú podstatne odlišné od nuly a ukazujú tak na prejav efektu odskoku fragmentov primárneho jadra.

Prvýkrát bola vykonaná systematická analýza priečných hybností fragmentov zrážajúcich sa jadier v reakčnej rovine zrážky v neperiférnych interakciách ¹²C, ¹⁶O, ²²Ne, ²⁸Si, ³²S, ⁸⁴Kr a ¹⁹⁷Au s jadrami (Ag, Br) zmeraných jednotnou fotoemulznou metódou pri E = (1-15) A GeV.

Bol pri tom potvrdený efekt odskoku fragmentov primárneho jadra a bočná emisia fragmentov z terčika (tzv. "side-splash" efekt) spolu s tendenciou výletu fragmentov zrážajúcich sa jadier do opačných smerov v azimutálnej rovine. Obidva efekty sa pritom zosilňujú pri znižovaní zámernosti vzdialenosti.

Metóda Fourierovej analýzy azimutálnych uhlových rozdelení relativistických častíc – účastníkov zrážky

$$dN/d\Psi = c [1 + 2v_1 \cdot \cos(\Psi) + 2v_2 \cdot \cos(2\Psi)]$$

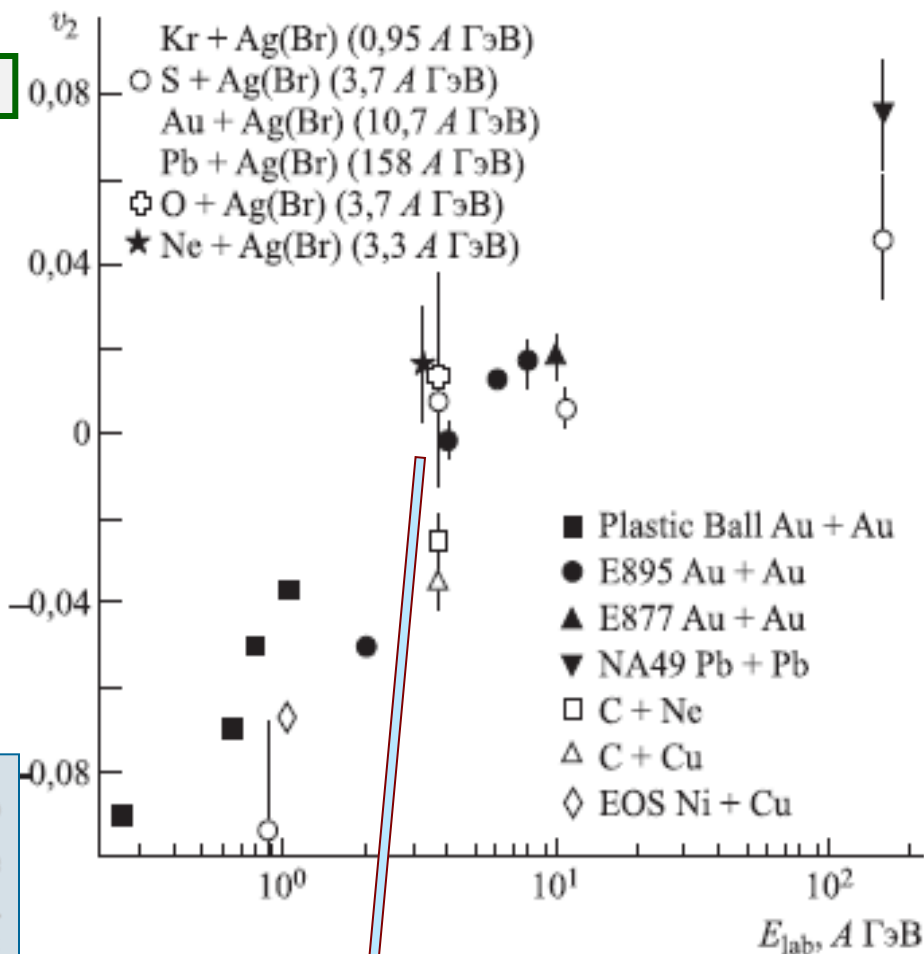
J.-Y. Ollitrault, 1992

Eliptický tok častíc – účastníkov zrážky je charakterizovaný parametrom v_2

FLOW EFFECTS IN HIGH-ENERGY NUCLEUS COLLISIONS WITH Ag(Br) IN EMULSION

ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА, 2004, том 67, № 2, с. 290–297

v_2 práve pri energii dubnenského urýchľovača mení znamienko z "-" pre nízke energie (tzv. "squeeze-out" efekt, tj. emisia účastníkov zrážky mimo reakčnej roviny) na "+" pri ultrarelativistických energiách (tzv. kladný eliptický tok, tj. emisia častíc v reakčnej rovine).



The change of the sign of the elliptic flow measured at midrapidity is detected at Dubna energies (3—4 A GeV) by the unique emulsion data.

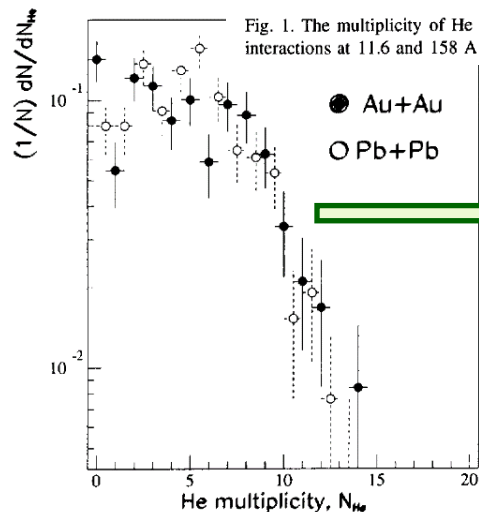
He production in 158 A GeV/c Pb on Pb interactions

EMU01 Collaboration

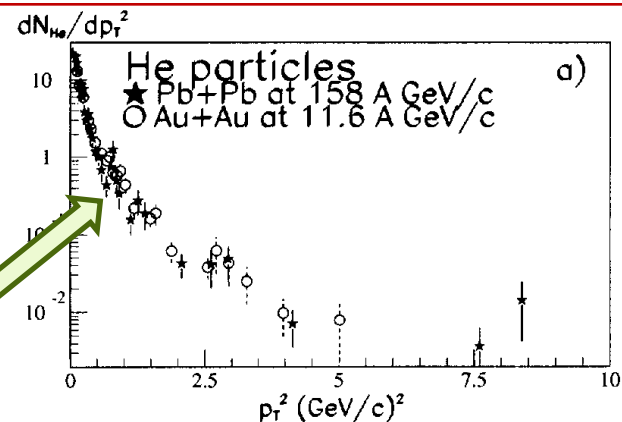
Dubna Emulsion Group was accepted into the EMU01 Collaboration in May **1991**.

Physics Letters B 390 (1997) 445-449

Fig. 1. The multiplicity of He fragments for Au+Au and Pb+Pb interactions at 11.6 and 158 A GeV/c, respectively

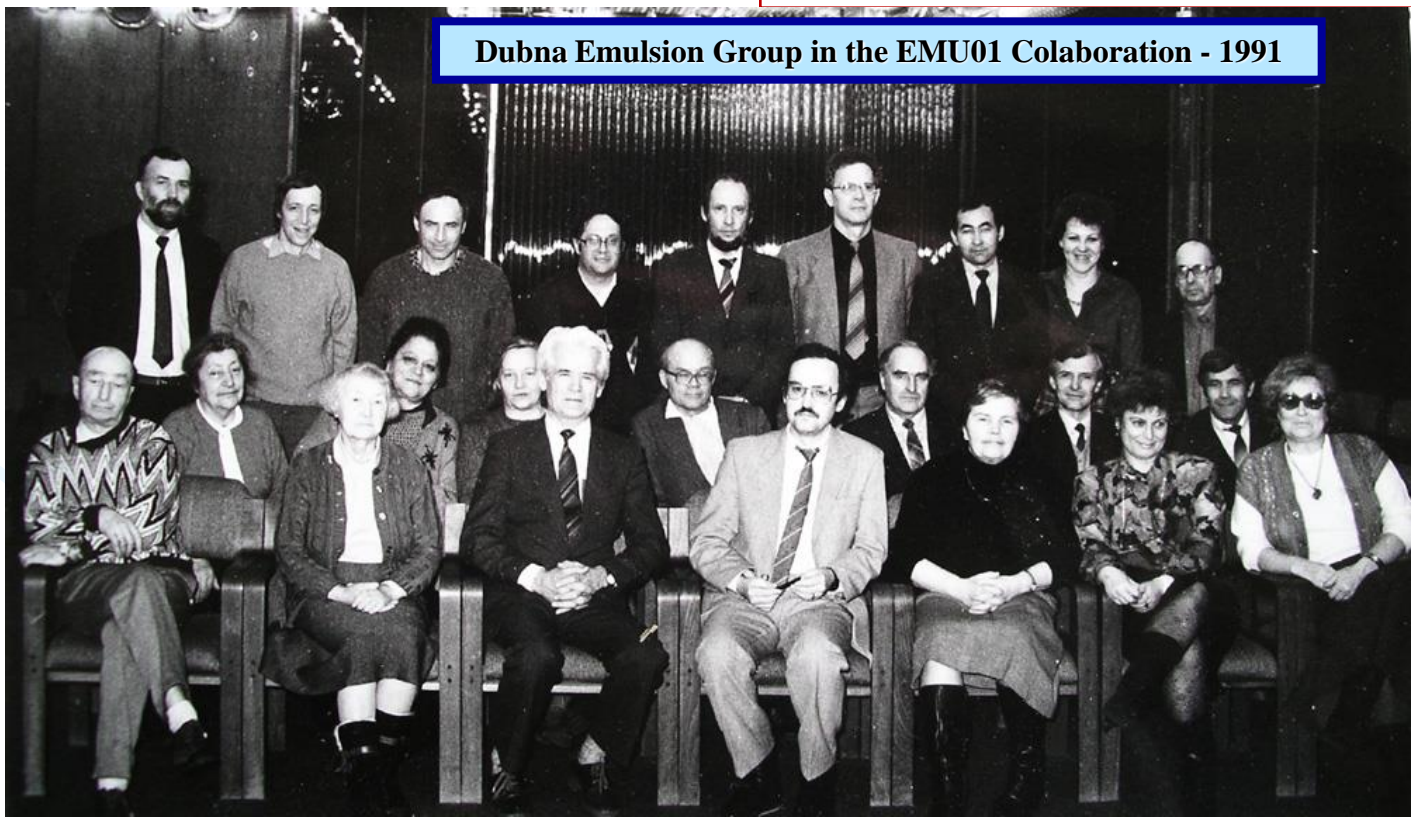


- He fragments were measured in Au+Au and Pb+Pb collisions (emulsion - irradiated vertically).
- The distribution of the multiplicity of He fragments shows **similarity of the data for the two different primary energy** indicating that limiting fragmentation is reached already at 12 A GeV/c.
- The Pt spectra are similar again. One can see **two components in the spectra with different slopes**: one steep at low P_t and one slowly descending for larger P_t .

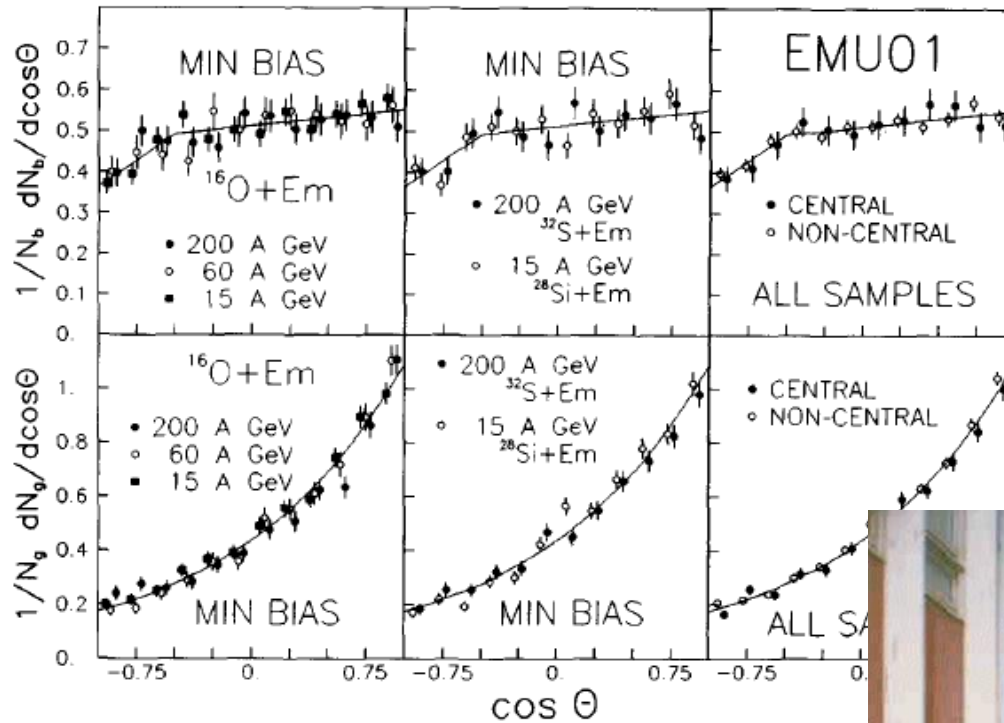


EMU01

Dubna Emulsion Group in the EMU01 Collaboration - 1991



(Слева направо) К.Д.Толстов, М.И. Третьякова, В.Г. Ларионова, З.В. Анзон, Л.Бокова, А.Ш. Гайтинов, С.А. Краснов, С. Вокал, М.И. Адамович, З.И. Соловьева, А.Д.Коваленко, В.Браднова, Ф. Нормуратов, Л.А. Ломова, (стоят) В.Дитлов, участники совещания, Б.Б. Симонов, В. Плющев, А. Бондаренко, Н. Буриев, С.П. Харламов. На фотоэмульсионном совещании.



EMU01

$$\frac{1}{N_b} \frac{dN_b}{d \cos \theta}$$

$$= 0.62 + 0.25 \cos \theta, \quad \cos \theta < -0.50$$

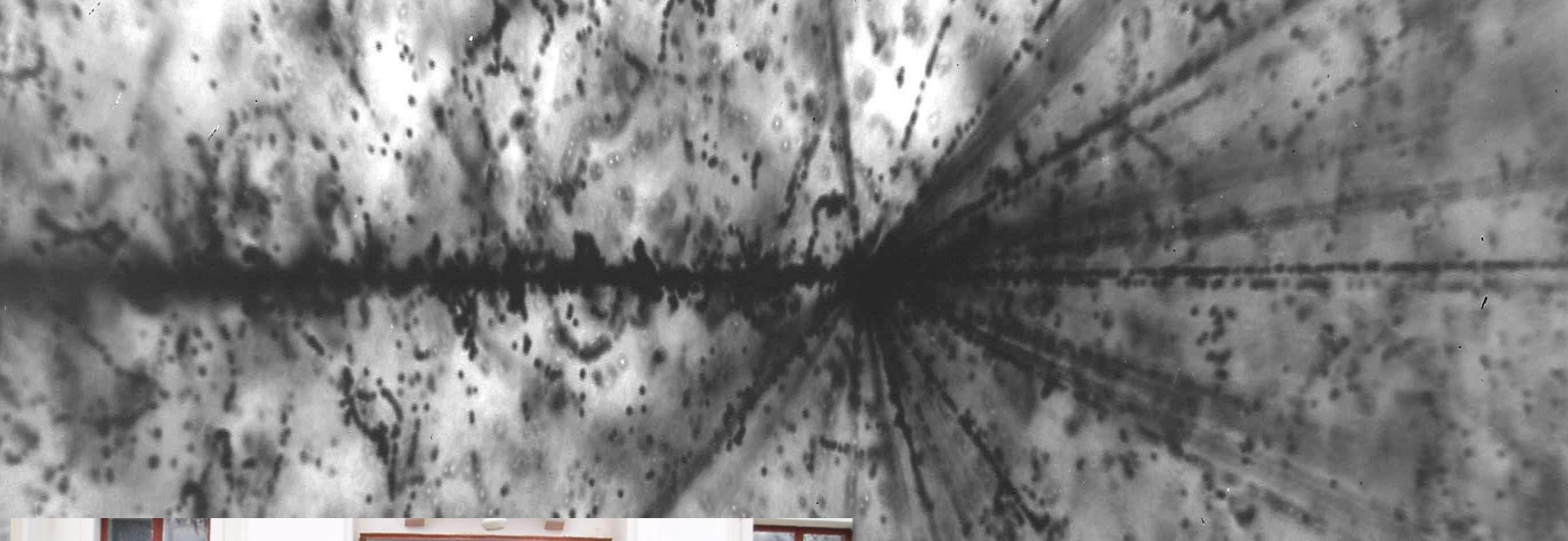
$$= 0.51 + 0.04 \cos \theta, \quad \cos \theta \geq -0.50$$

Košice, Slovakia, 1994
EMU01 meeting

$$\frac{1}{N_g} \frac{dN_g}{d \cos \theta} = 0.44 \exp(0.92 \cos \theta)$$



- Uhlové spektrá terčových fragmentov s $\beta < 0,7$ sú konzervatívne v oblasti energií od 15 do 200 A GeV
- Uhlové spektrá rýchlych terčových fragmentov sú dobre popísané exponenciálnou funkciou, ktorá je veľmi blízka parametrizácii uhlových rozdelení zmeraných v p-Em zrážkach pri podobných energiách
- Uhlové spektrá najpomalších fragmentov terčového jadra zmerané v tých istých jadrových zrážkach jednotne vykazujú zlom pri veľkých uhloch emisie týchto častíc $\theta \approx 120^\circ$



Beryllium (Boron) Clustering Quest in Relativistic Multifragmentation (BECQUEREL Project)



*V. Bradnova^b, M. M. Chernyavsky^a, L. Just^d,
S. P. Kharlamov, A. D. Kovalenko^b, M. Haiduc^c,
K. A. Kotelnikov^a, V. A. Krasnov^a, V. G. Larionova^d,
F. G. Lepekhin^f, A. I. Malakhov^b, G. I. Orlova^a,
N. G. Peresadko^a, N. G. Polukhina^a, P. A. Rukoyatkin^b,
V. V. Rusakova^b, N. A. Salmanova^a, B. B. Simonov^f, S. Vokal^e, P. I. Zarubin^b, I. G. Zarubin^b*

^a P. N. Lebedev Physical Institute (FIAN), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^b V. I. Veksler and A. M. Baldin Laboratory of High Energies,
Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

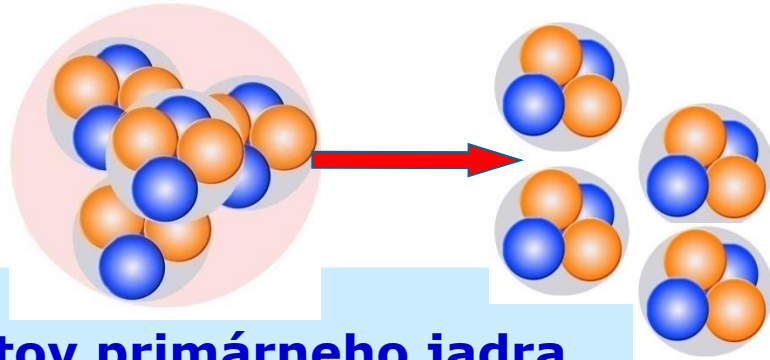
^c K. Safarik University, Kosice, Slovakia

^d Institute of Experimental Physics SAS, Kosice, Slovakia

^e Institute of Space Sciences, Bucharest-Magurele, Romania

^f Petersburg Institute of Nuclear Physics, Gatchina, Russia

Fragmentácia relativistických jadier

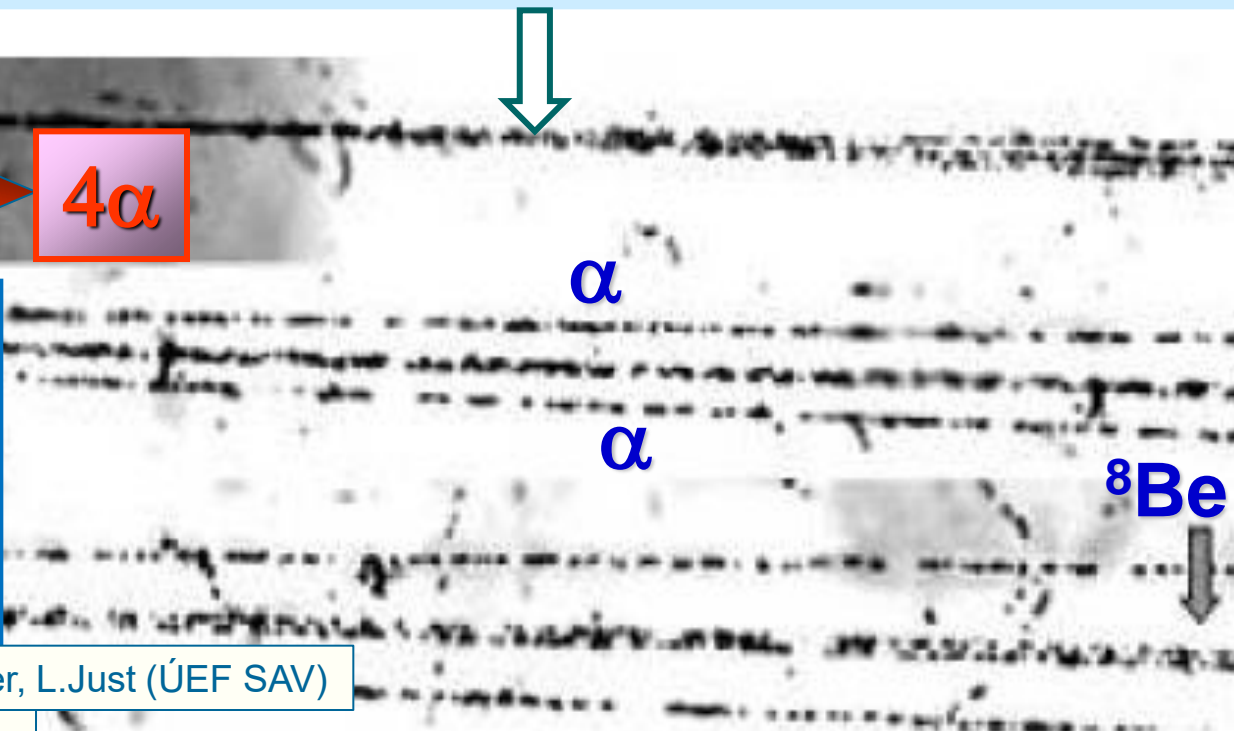


Merané charakteristiky - počty, náboje a hybnosti nepreinteragovaných fragmentov primárneho jadra

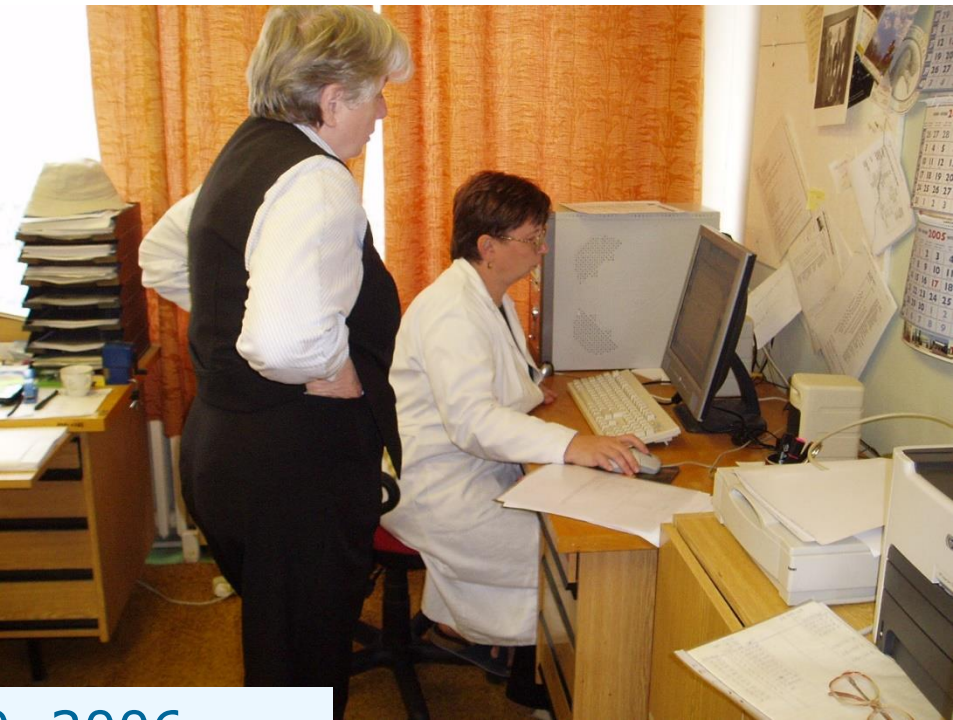


+ A. Kravčáková, A. Dirner, L. Just (ÚEF SAV)

+ doktorandka – S. Lehocká



Prvýkrát boli zostavené tabuľky nábojovej topológie fragmentov jadier ^{22}Ne a ^{28}Si pri energiách až do 200 A GeV, ktoré sú základnou charakteristikou multifragmentácie jadier
Prvé výsledky pri meraní disociácie $^6,7\text{Li}$, ^7Be , ^{10}B , ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O a iných ľahkých relativistických stabilných aj nestabilných jadier urýchlených na supravodivom urýchľovači atómových jadier Nuklotróne v SÚJV v Dubne v rámci experimentu **BECQUEREL**



KJaSF na Jesennej, September 20, 2006





KJaSF, Jesenná ul.
2005 - 2006

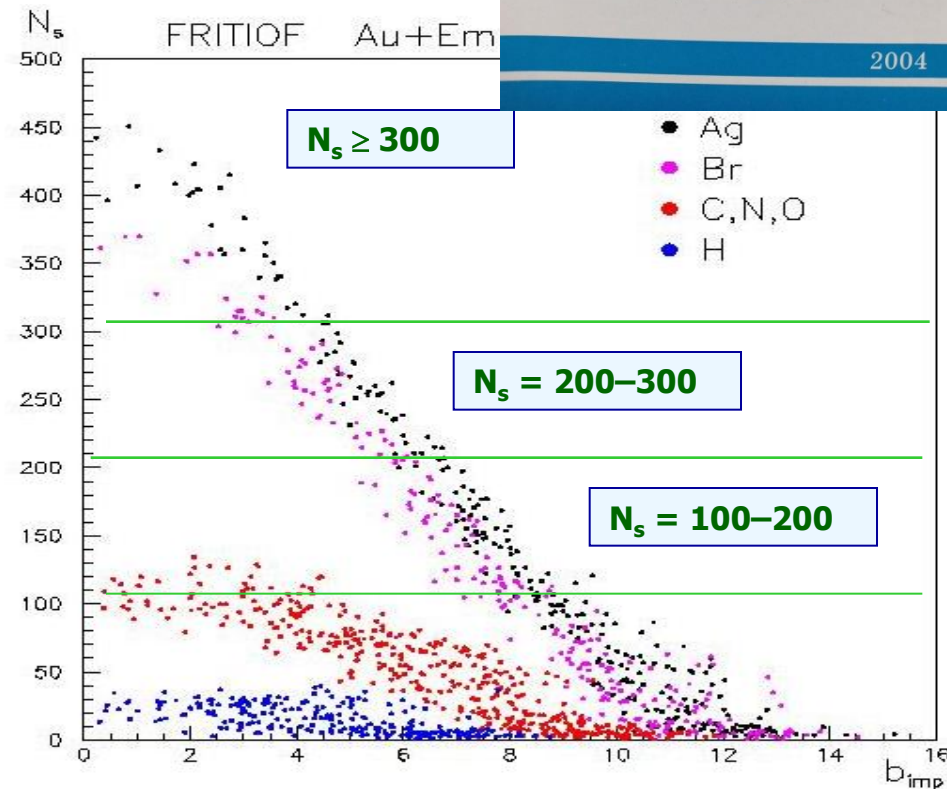
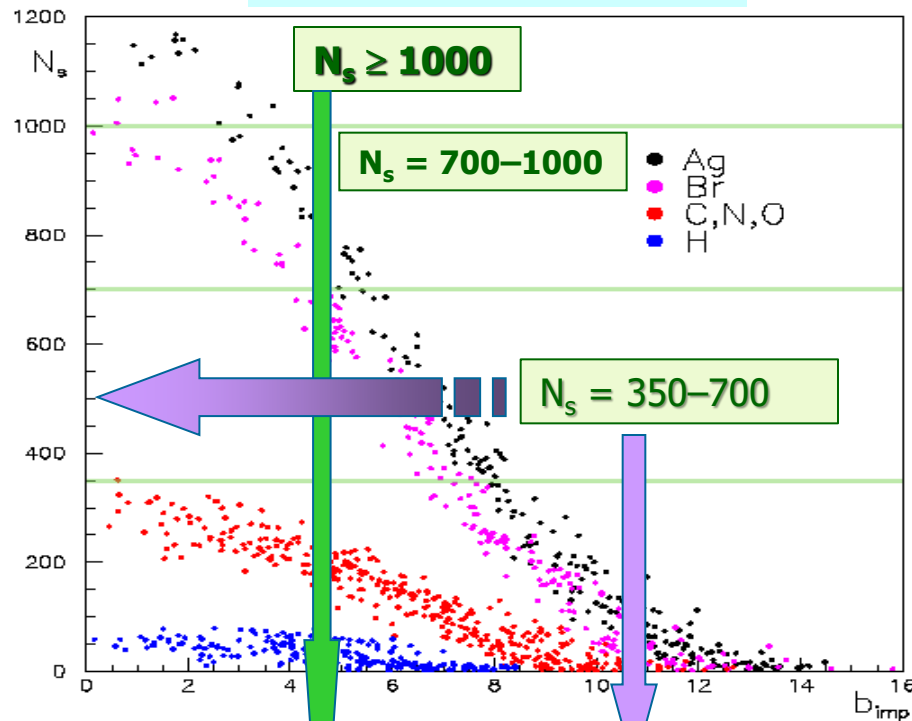


Next step - Study fluctuations in central events

Selection of central events - Centrality criteria by model

FRITIOF model calculation for N_s dependence on b_{imp} for different target mass of our emulsion detector

Pb+Em, 158 A GeV/c



The criterion $N_s \geq 350$ selects the interactions of lead nuclei with the heavy emulsion targets Ag and Br with $b_{\text{imp}} < 8$ fm only.

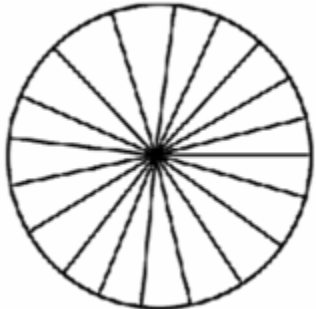
The group with $N_s \geq 1000$ comprises the central Pb + Ag(Br) interactions with impact parameter $b_{\text{imp}} \approx (0 - 2)$ fm.

Ring-like structures

Au+Ag(Br) (11.6 AGeV/c)

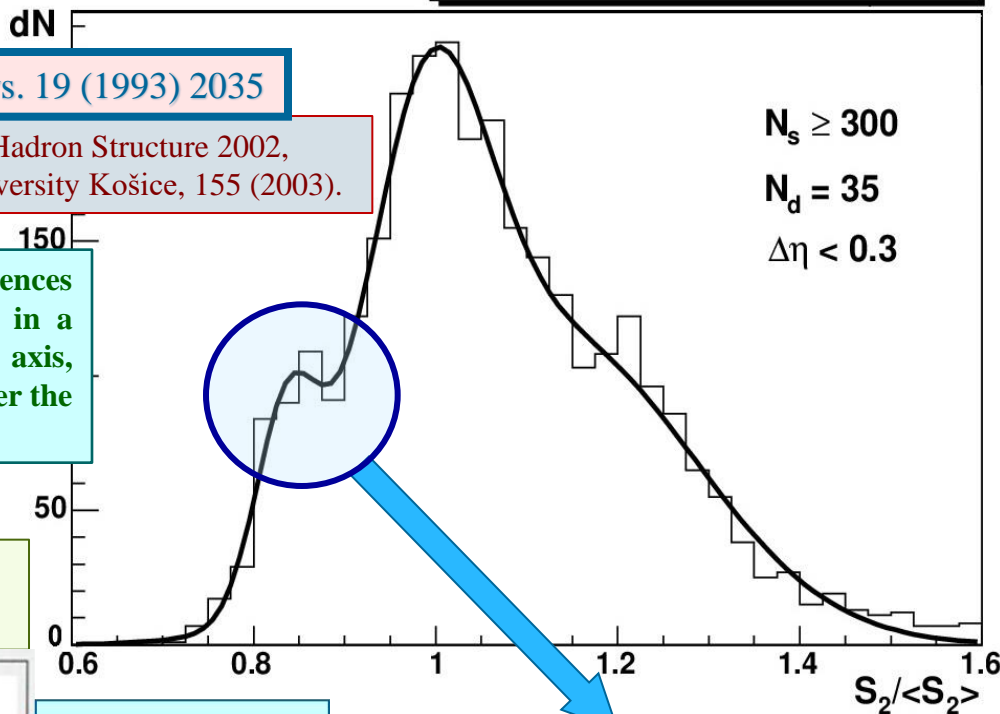
M.I.Adamovich et al. (EMU01), J.Phys.G: Nucl.Part.Phys. 19 (1993) 2035

G. I. Orlova, A. Kravčáková, S. Vokál, V. V. Prosin, in Proc. of the Hadron Structure 2002, Herľany, Slovakia, 22-27. Sept. 2002, Ed. by P. J. Šafárik University Košice, 155 (2003).



The ring-like structures are occurrences where many particles are produced in a narrow region along the rapidity axis, which at the same time are diluted over the whole azimuth.

The normalized $S_2/\langle S_2 \rangle$ distribution (with additional criteria $\Delta \eta < 0.3$) is fitted by three Gaussians.



Jet-like effect

Ring-Like effect in Au induced collisions with heavy targets

$$S_2 = \sum (\Delta \phi_i)^2$$

S_2 - parameter:

A. Kravčáková a S. Lehocká

208Pb & 197Au

10-12 % ($^{208}\text{Pb}+\text{Ag}(\text{Br})$)
 5-7 % ($^{197}\text{Au}+\text{Ag}(\text{Br})$)
 events with nonstatistical ring-like structures in the emission of produced particles is in the most central group

Stochastic scenario

Ring-like effect

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
 ИНСТИТУТ
 ЯДЕРНЫХ
 ИССЛЕДОВАНИЙ
 Дубна

El-2005-66

S. Vokál^{1,2*}, S. Lehocká², G. I. Orlova¹

AZIMUTHAL STRUCTURES OF PARTICLES
 PRODUCED IN HEAVY-ION INTERACTIONS

Submitted to «Yadernaya Fizika»

¹ Joint Institute for Nuclear Research, Dubna
² P. J. Šafárik University, Košice, Slovakia
 * E-mail: vokal@sanhe.jinr.ru

2005

Scaled Factorial Moments

Search for nonstatistical fluctuations of particle production in heavy ion collisions using the method of scaled factorial moments (J. Vrláková): APS 56 (2006) 83-86, APH, Heavy Ion Physics 13(2001) 213-221

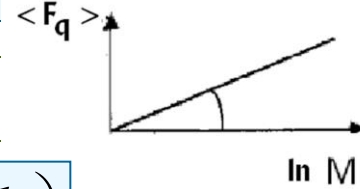
Analysis based on the method proposed in:

Bialas A., Peschanski R. Nucl. Phys. 273(1986)703

$$F_q \propto \left(\frac{\Delta\eta}{\delta\eta} \right)^{\varphi_q}$$

$$\delta\eta = \frac{\Delta\eta}{M}$$

It was proposed to analyze the scaling properties of factorial moments, F_q , as the resolution in the density distribution is varied.



q - the order of the FM
M - number of equal bins of size $\delta\eta$ into which the pseudorapidity interval $\Delta\eta$ is divided

$$\ln \langle F_q \rangle = const + \varphi_q \cdot \ln \left(\frac{1}{\delta\eta} \right) \quad \varphi_q > 0$$

- For a random uncorrelated particle production $\langle F_q \rangle$ should be constant for all values of q (Phys.Rev. C44, No.2, 1991, p.854).
- In case of effect (correlated particle production) = $\langle F_q \rangle$ should increase with increasing order q of the moment and the exponent $\varphi_q > 0$ for $\delta \rightarrow 0$

J. Vrláková

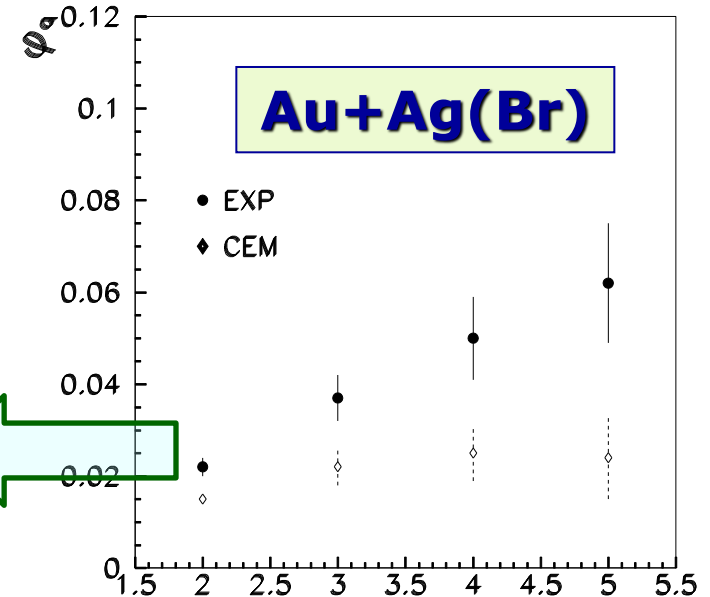
S.Vokál, J.Vrláková, Proc. of RNP, June 17-23, 2012, Stará Lesná, p.62.

The dependences of slopes φ_q on beam parameters Comparison EXP-CEM

Heavy Beam Nuclei

$n_s > 300$, $\eta = 0-5$.
 $M = 3-50$, $q = 2-5$

- Experimentálne hodnoty φ_q sú väčšie ako modelové.
- To ukazuje na prítomnosť dynamických fluktuácií, zatiaľ čo faktoriálne momenty nezávisle od $\delta\eta$ sú očakávané v prípade čisto štatistických fluktuácií.



Záver

- **Krátka história emulzných experimentov košickej fotoemulznej skupiny v období 1964 – 2024.**
- **Prehľad vybraných výsledkov o produkcii nabitých častíc v experimentoch s rýchlymi atómovými jadrami ^1H , ^2H , ^4He , ^{12}C , ^{16}O , ^{22}Ne , ^{28}Si , ^{32}S , ^{36}Kr , ^{197}Au a ^{208}Pb s hybnosťami $\sim (1-200) A \text{ GeV}/c$ s použitím unikátneho emulzného detektora:**
 - ❑ **Počty a uhlové spektrá sekundárnych nabitých častíc a relativistických fragmentov primárneho jadra;**
 - ❑ **Fragmentácia jadier;**
 - ❑ **Kolektívne toky jadrovej matérie v neperiférických jadrových zrážkach;**
 - ❑ **Fluktuácie v emisii s-častíc s $\beta > 0,7$ produkovaných v centrálnych jadrových interakciách s Ag(Br) – terčovými jadrami;**
 - ❖ **Porovnanie experimentálnych dát s modelovými výpočtami pre rôzne primárne energie, hmotnosti primárnych jadier a zámerné vzdialenosti zrážajúcich sa objektov .**