

Академия наук  
СССР

Academy of Sciences  
USSR

ИНСТИТУТ  
КОСМИЧЕСКИХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ



SPACE  
RESEARCH  
INSTITUTE

М.А.Грунтман, В.Б.Леонас  
НЕЙТРАЛЬНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР  
ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ИССЛЕДОВАНИЯ

117810 Москва, ГСП-7, Профсоюзная, 84/32

Телетайп: 11325 ПАРСЕК

Москва

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Пр-825

М.А. Грунтман, В.Б. Леонас

НЕЙТРАЛЬНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР  
ВОЗМОЖНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО  
ИССЛЕДОВАНИЯ

Представлено к печати  
академиком Г.И.Петровым

1983

Проведенные в работе обсуждения и оценки показывают, что эксперимент по исследованию характеристик нейтрального солнечного ветра осуществим. Ключевым элементом прибора должен стать время-пролетный детектор-энергоанализатор нейтральных частиц, позволяющий выделять слабый полезный сигнал из существенно превосходящего его потока фонового УФ излучения. Обсуждены научные цели, ожидаемые результаты, методика проведения эксперимента, требования к бортовому прибору, возможные пути улучшения характеристик детектора. Определены дополнительные исследования, выполнение которых обеспечит успешное проведение эксперимента. Подчеркивается, что обсуждаемый эксперимент может стать частью комплексного исследования взаимодействия Солнечной системы с локальной межзвездной средой и межпланетной пылью.

The proposed experiment intends to investigate the characteristics of Solar Wind (SW) neutral constituent (H atoms) - neutral SW (NSW). The instrument primarily consists of time-of-flight detector-energy analyser (NSWD) based on the use of secondary electron multipliers and thin foil and is able to extract a signal from the superior UV background.

There are different sources of NSW, therefore NSW characteristics may provide information on the local interstellar medium (LISM), interplanetary dust, SW at the Sun vicinity ( $< 0.3$  AU). The experiment scientific objectives, the anticipated results and their significance are discussed. The NSWD prototypes are shown and their performance is described. It is essential that requirements for NSWD on-board operation can be met by existing, present-day instrumentation except direct solar light baffles. The ways to improve the NSWD are discussed. Supporting studies necessary for experiment realization are outlined.

It is emphasized that the NSW experiment is feasible. The synergistic measurements are considered. They would greatly enhance the science return of the proposed experiment and provide possibilities both for complex investigation of neutral particles in interplanetary space and for investigation of the interaction between Solar system and LISM.

УДК: 523.2 + 523.6 + 524.5 +  
539.1.074 + 621.384.8

### I. Введение.

Исследования солнечного ветра (СВ) и связанных с ним явлений выделяются размахом, широтой и достигнутыми результатами [1,2]. Тем не менее о нейтральной составляющей СВ – нейтральном СВ (НСВ) – известно немного. За образование НСВ ответственны различные физические процессы, причем они различным образом влияют на характеристики НСВ, и неизвестно, какой из них доминирует. Можно указать три возможных источника НСВ: выброс вещества частично в виде нейтральных атомов из Солнца, рекомбинация в расширяющейся солнечной короне и перезарядка ионов СВ в межпланетном пространстве на атомах нейтральных газов, которые, в свою очередь, могут быть различного происхождения.

Некоторый прогресс в теоретическом исследовании НСВ не подкреплён и не стимулируется соответствующим экспериментом. Экспериментальное изучение характеристик НСВ сопряжено с рядом исключительно серьёзных трудностей, и поэтому неудивительно, что единственная известная попытка его исследования окончилась неудачно [3]. Создание нами время-пролетного (ВП) детектора-энергоанализатора нейтральных частиц с энергией  $\sim 1$  кэВ [4-6] позволяет вновь обратиться к обсуждению возможных постановок эксперимента по исследованию НСВ. Впервые на возможность ис-

пользования ВП детектора для решения этой задачи было указано в 1979 году\*. Более подробно затем вопросы постановки и технической реализации такого эксперимента были рассмотрены в [7,8].

Настоящая работа посвящена обсуждению целей, ожидаемых научных результатов и возможности технической реализации эксперимента по исследованию характеристик НСВ.

## 2. Научные цели.

Целью эксперимента является исследование характеристик НСВ и физических процессов, приводящих к его образованию.

Информативность эксперимента может быть существенно расширена при условии, что одновременно с исследуемым НСВ будут проводиться ряд дополнительных обсуждаемых ниже измерений. Такой комплекс взаимодополняющих экспериментов позволил бы исследовать характеристики межзвездной среды (МЗС), окружающей Солнечную систему (СС), - так называемой локальной МЗС (ЛМЗС), ее взаимодействие с СС, характеристики межпланетной пыли и СВ в недоступной в настоящее время для космических аппаратов (КА) области в непосредственной близости к Солнцу.

## 3. Ожидаемые результаты.

Можно ожидать, что в ходе реализации экспериментов будут измерены характеристики НСВ, их временные вариации и, возможно, корреляции с солнечной активностью, характеристиками СВ и межзвездного газа (МЗГ), излучением солнечной короны. Такие данные позволят получить информацию о следующем:

---

\* М.А.Грунтман. Отчет I82 лаборатории № 9-I82, ИКИ АН СССР, 1979. (См. также: М.А.Грунтман. Отчет I82 лаборатории № I4-I82, ИКИ АН СССР, 1980).

- характеристики НСВ;
- выбросы вещества и рекомбинация в солнечной короне;
- характеристики межпланетной пыли в окрестности Солнца;
- характеристики ЛМЗС;
- характеристики СВ в области, недоступной в настоящее время для КА вблизи Солнца;
- влияние НСВ на процессы в земной магнитосфере.

### 3.1. Характеристики НСВ.

НСВ, как это полагают в настоящее время, обязан своим происхождением в основном процессу перезарядки ионов СВ на их пути от Солнца к наблюдателю на нейтральных атомах (водород и гелий) в межпланетном пространстве. НСВ состоит из атомов водорода, поскольку основная составляющая СВ — протоны. Почти весь гелий в СВ дважды ионизован, и для нейтрализации должен дважды испытать перезарядку. Вероятность такого процесса ничтожно мала. Ничтожно мало в СВ также и изначально однократно ионизованных атомов He. Так для условий в солнечной короне отношение плотностей ионизованных компонент гелия  $n_{\text{He}^+}/n_{\text{He}^{++}} = 3 \cdot 10^{-6}$  [9]. Энергия атомов НСВ близка к энергии протонов СВ — 1 + 2 кэВ. При перезарядке на атоме H средняя потеря энергии протоном незначительна, а при перезарядке на атоме He составляет ~10 эВ (нерезонансный процесс).

Поток НСВ — узконаправленный, и угол отклонения  $\eta$  траекторий частиц от направления движения потока определяется температурой СВ и рассеянием при перезарядке и удругих столкновениях с ионами и электронами СВ. Заметим, что чем ближе к Солнцу "рождаются" атомы НСВ, тем меньше угловой разброс их траекторий на орбите Земли, то есть существует угловая

"фокусировка" частиц. Величина угла  $\eta$  составляет  $3 - 5^\circ$ . Азимутальная скорость СВ на орбите Земли не превосходит  $5 - 10$  км/с, а полярную можно считать равной нулю [1]. Поэтому из-за aberrации поток НСВ будет приходить к наблюдателю, движущемуся вместе с Землей, под углом  $2.5^\circ$  к направлению на Солнце. Напомним, что видимый с Земли угловой диаметр Солнца составляет  $0.5^\circ$ .

В эксперименте требуется определить энергию атомов НСВ, плотность их потока в зависимости от направления наблюдения и положения наблюдателя, их временные вариации. Интерес представляет связь этих характеристик с солнечной активностью, параметрами СВ и МЗГ, излучением солнечной короны. Выделенным направлением для характеристик НСВ является направление вектора относительной скорости СС и МЗГ, лежащего приблизительно в плоскости эклиптики.

### 3.2. Локальная межзвездная среда.

ЛМЗС является одним из основных источников нейтральных атомов в межпланетном пространстве. Атомы нейтрального МЗГ влетают в СС, подвергаясь воздействию солнечного гравитационного притяжения и радиационного отталкивания, и могут достигать, не погибнув (не ионизовавшись), областей внутри орбиты Земли. Исследования взаимодействия СС с МЗГ, как теоретические, так и экспериментальные, позволили достичь удовлетворительного качественного понимания этого явления (см. обзоры [10 - 12]). Принятые в настоящее время параметры невозмущенной ЛМЗС: плотность  $n_0 \approx 0.1$  см<sup>-3</sup>, температура  $T_0 \approx 10^4$  К, скорость относительно СС  $v_0 \approx 20$  км/с [13 - 15]. Плотность атомов He примерно в 10 раз меньше плотности атомов H, и

ЛМЭС частично ионизована.

Плотность потока НСВ, образованного перезарядкой на проникием в СС МЗГ,  $j_{\text{НСВ}}$  впервые была рассчитана в [16], причем учитывалась только перезарядка на атомах межзвездного Н. Аналогично определялся поток НСВ и в [12]. В [17] было показано, что поток НСВ, образующийся перезарядкой протонов СВ на атомах межзвездного He, сравним с потоком, получаемым перезарядкой на водороде, а при определенных положениях наблюдателя оказывается преобладающим. В [18] были рассчитаны плотности потока НСВ не только в зависимости от положения наблюдателя на орбите Земли, но и от направления наблюдения, то есть получены линии одинаковой плотности потока (изофлаксы) НСВ. Причем была учтена сложная, "двухпотоковая" структура СВ, наблюдавшаяся в [19]. Полученные в расчетах характерные величины плотности потока НСВ составили  $j_{\text{НСВ}} = 10^4 - 3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ стерад}^{-1}$ .

До последнего времени единственным экспериментальным способом исследования характеристик ЛМЭС являлись измерения рассеянного втекающим в СС МЗГ солнечного излучения в резонансных линиях водорода (Лайман- $\alpha$  1216 Å) и гелия (584 Å). Полученные из этих измерений характеристики невозмущенных межзвездного водорода и межзвездного гелия противоречивы, что требует пересмотра сложившихся представлений о взаимодействии ЛМЭС с СС (см. например [20]). Исследование НСВ позволит получить дополнительную информацию о МЗГ, причем, что особенно важно, качественно иным экспериментальным способом.

### 3.3. Межпланетная пыль.

Другим источником нейтрального газа, на котором может происходить перезарядка протонов СВ, является межпланетная пыль

[21]. Протоны СВ с энергией 1 кэВ могут внедряться в пылинки на глубину 100 - 300 Å. Когда плотность внедрившихся протонов достигает насыщения (это происходит, когда на один атом вещества пылинки приходится приблизительно один протон), начинается дегазация водорода с поверхности пылинки с интенсивностью для стационарного случая равной потоку попадающих в пылинку новых протонов СВ. Аналогичный эффект должен существовать и для He. Поскольку межпланетная пыль концентрируется в основном в плоскости эклиптики вблизи Солнца, то именно в этой области должна наблюдаться наибольшая концентрация нейтрального газа, выделившегося из пыли. Оценки количества межпланетной пыли, полученные из различных видов измерений, противоречивы: расхождение достигает нескольких порядков [21]. Таков же разброс оценок величины плотности потока НСВ  $j_{\text{HCB}}$ , образованного перезарядкой на выделившемся из пыли газе:  $j_{\text{HCB}}$  может оказаться и больше и меньше  $j_{\text{HCB}}$ .

В последнее время вырос интерес к взаимодействию межпланетной пыли с СВ в связи с проведением экспериментов по наблюдению рассеяния солнечного излучения выделяемым из пыли газом [22 - 24]. Количество пыли удалось оценить более точно [24], однако понимание процессов десорбции газа и возможных при этом химических и фотохимических реакций и превращений нельзя признать удовлетворительным. Это оставляет место для произвола в оценках величины ожидаемого потока  $j_{\text{HCB}}$ . Исследования НСВ могут позволить получить информацию о характеристиках межпланетной пыли и процессов дегазации пылинок.

#### 3.4. Солнечный ветер.

Атомы НСВ несут информацию о характеристиках СВ в облас-

тях, где происходит перезарядка. Часть этих атомов, достигающих орбиты Земли, образуется на расстояниях меньших 0.3 а.е. от Солнца, а также вне плоскости эклиптики. Эти области недоступны в настоящее время для КА, что обуславливает особую ценность информации о характеристиках СВ, даже если она получена непрямым образом.

Другим источником образования НСВ является явление рекомбинации в плазме СВ. Скорость рекомбинации быстро спадает с увеличением расстояния от Солнца, поэтому основной вклад в величину потока НСВ  $j_{\text{SWR}}$ , образованного рекомбинацией, дадут области, расположенные ближе к Солнцу, чем к Земле. Величина  $j_{\text{SWR}}$  на орбите Земли зависит от характеристик СВ, и полуколичественные оценки дают для нее значение  $5 \cdot 10^2 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  [12].

Выбросы вещества из Солнца частично в виде нейтральных атомов Н и He также могут достигать орбиты Земли [25], и в этом случае они неотличимы от НСВ. Величину плотности потока таких атомов оценить весьма сложно, и одна из качественных оценок дает величину на орбите Земли порядка  $j_{\text{ISG}}$  [12].

### 3.5. Магнитосфера Земли.

НСВ может оказать воздействие на процессы в магнитосфере Земли (и других планет). На эту возможность указывается, например в [25]. Свободно проникая в магнитосферу, атомы НСВ перезаряжаются на фоне магнитосферной плазмы. Таким образом во внутренние области магнитосферы "впрыскиваются" быстрые (1 - 2 кэВ) протоны. Интересно отметить, что указанные в [26] характеристики гипотетического источника быстрых протонов в магнитосфере, который мог бы быть ответственным за поддержание кольцевого тока во время магнитной бури, совпада-

ют во многом с характеристиками НСВ. Оценки показывают, что плотность потока НСВ  $10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  недостаточна для поддержания кольцевого тока. Однако можно ожидать, что увеличение потока НСВ во время, например, солнечных вспышек, может привести к наблюдаемым эффектам. Таким образом знание характеристик НСВ позволит правильно оценить возможное его влияние на магнитосферу Земли.

#### 4. Эксперимент

##### 4.1. Идеология эксперимента

Детектор для исследования характеристик НСВ (НСВД) устанавливается на борту КА, движущегося вместе с Землей вокруг Солнца или по межпланетной траектории с угловой скоростью близкой к угловой скорости орбитального движения Земли. Перед входом в НСВД необходимо расположить дефлектор (электростатический, магнитный ...), отклоняющий заряженные частицы. НСВД – узконаправленный ( $\approx 0.5 - 3^\circ$ ) и защищен системой бленд от исключительно сильного источника ультрафиолетового (УФ) излучения ( $4 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$  [27]) – Солнца. Система ориентации направляет прибор в область, расположенную на угловом расстоянии  $2 - 10^\circ$  от Солнца. НСВД измеряет плотность потока и энергию атомов НСВ. Детектор сканирует в прилегающей к Солнцу зоне. При продолжительности измерений  $\sim 1$  года можно определить зависимость характеристик НСВ от положения наблюдателя на орбите Земли.

##### 4.2. Требования к орбите КА.

Выбор орбиты КА определяется в основном двумя обстоятельствами:

I. КА должен двигаться вокруг Солнца с угловой скоростью не

меньшей угловой скорости Земли по орбите. Это приводит к аберрации, и направление прихода потока НСВ в детектор будет на несколько градусов отстоять от направления КА-Солнце, что позволяет избавиться от засветки прямыми лучами Солнца.

2. Наблюдения НСВ могут быть искажены перезарядкой протонов СВ на атомах водорода земного происхождения - убегающих из верхней атмосферы Земли. Плотность потока убегающих атомов водорода в окрестности Земли сильно зависит от параметров термопаузы [28]. Грубые оценки показывают, что измерения потока НСВ необходимо проводить на расстояниях от Земли, превышающих  $R_g \approx 10^6$  км, если потребовать, чтобы обусловленная этим эффектом плотность потока была менее  $10^2 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Используемая модель [28] не учитывает, однако, давление солнечного излучения, которое для атомов водорода примерно равно по величине <sup>солнечного</sup> силе гравитационного притяжения. Действие солнечного излучения приведет к "сдуванию" убегающих атомов с освещенной стороны Земли, что может существенно снизить значение величины  $R_g$ , например до  $(2 - 3)10^5$  км. Экспериментальные наблюдения подтверждают, по-видимому, существование обсуждаемого эффекта [29].

#### 4.3. Исследование характеристик НСВ.

Атомы НСВ могут быть зарегистрированы достаточно эффективно детекторами на основе вторичной электронной эмиссии - вторично-электронными умножителями (ВЭУ) и в том числе канальными ВЭУ и микроканальными пластинами (МКП). Однако наблюдаемый поток НСВ из области, расположенной в  $2.5^\circ$  от Солнца, сопровождается мощным УФ излучением, подавляющая часть которого сосредоточена в линии Лайман- $\alpha$  ( $\lambda = 1216 \text{ \AA}$ ). Это излучение обусловлено в основном свечением солнечной короны и свечением

МЗГ, втекающего в СС. Плотность потока фотонов снадает с увеличением угла между направлением наблюдения и на Солнце  $\varphi$  и при значениях  $\varphi > 2^\circ$  не превосходит  $F_\nu = 10^9$  фот  $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1} \text{стерад}^{-1}$  [8, 18], что на 4 - 5 порядков превышает ожидаемую плотность потока НСВ. Именно поток УФ квантов, которые также достаточно хорошо регистрируются детекторами на основе вторичной электронной эмиссии, является основным препятствием для исследования НСВ. Отсюда вытекает и требование к НСВЦ: выделение слабого сигнала из существенно превосходящего его фона УФ фотонов.

#### 4.3.1. Идея метода.

Чрезвычайно жесткие требования к прибору могут быть удовлетворены, как нам представляется, использованием техники совпадений. Необходимо так организовать работу прибора, чтобы попадание в него тяжелой частицы могло привести к двум независимым регистрируемым физическим явлениям (например, к эмиссии электрона и иона или фотона и т.п.), а приход фотона - только к одному. Пусть  $I_n$  и  $I_\nu$  - интенсивности попадающих в прибор частиц и фотонов соответственно. С приходом частицы будем отождествлять только то событие, для которого два независимых физических явления происходят одновременно, то есть в течение заданного небольшого промежутка времени  $\tau_0$ . Тогда скорость счета совпадений, связанных с приходом частиц, будет  $S \sim I_n$ . Фоновый счет будет вызван приходом в прибор двух фотонов, разделенных интервалом времени меньшим  $\tau_0$ . Интенсивность фоновых отсчетов будет  $N \sim I_\nu^2 \tau_0$ . И  $\frac{S}{N} \sim \frac{I_n}{I_\nu^2 \tau_0} = \frac{I_n}{I_\nu} \frac{1}{I_\nu \tau_0}$ . При апертуре прибора, меньшей определенной величины, отношение  $(\frac{I_n}{I_\nu})$  меняется слабо и может считаться постоянным. Тогда  $\frac{S}{N} \sim \frac{1}{I_\nu \tau_0}$ . Чем меньше апертура прибора и, соот-

ответственно,  $I_n$  и  $I_y$ , тем лучше отношение сигнала к фону, и можно добиться выделения полезного сигнала при высоком уровне фона. Требуемое для этого увеличение времени экспозиции возможно, поскольку характерные времена изменения параметров нейтральных потоков в космическом пространстве могут быть достаточно велики.

#### 4.3.2. Реализация метода.

Описанный подход к регистрации нейтральных частиц с использованием техники совпадений был реализован следующим образом. На входе прибора устанавливалась тонкая фольга  $F$ , а

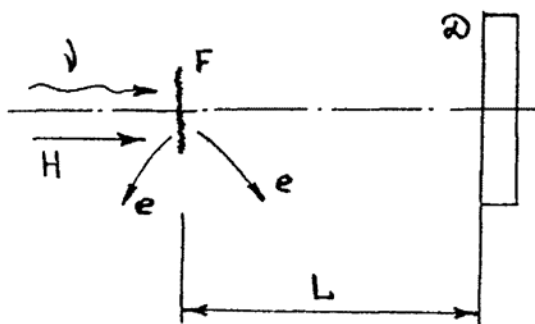


Рис.1. Детектор для регистрации частиц методом совпадений.

на некотором расстоянии  $L$  за ней детектор частиц  $D$  (рис.1). Потеряв часть энергии при прохождении фольги, частицы вылетают из нее и попадают в детектор  $D$ , где могут зарегистрироваться (первое неза-

висимое событие). При прохождении фольги частица может вызвать эмиссию электронов, которые тем или иным образом регистрируются (второе независимое событие). Приход УФ фотона не может привести к этим двум явлениям одновременно. Если фотон вызвал эмиссию из фольги электрона, то он поглотился в ней, и детектор частиц не "срабатывает". С другой стороны, если фотон, пройдя сквозь фольгу, попал в детектор, то не будет эмиссии электронов из фольги.

Измеряя время между сигналами, вызванными регистрацией

электронов и частиц, то есть фактически промежуток времени между моментом эмиссии электронов из фольги и приходом частицы в детектор, и зная расстояние  $L$ , можно определить скорость зарегистрированной частицы. Получаемый таким образом время-пролетный спектр содержит информацию о распределении по энергиям нейтральных частиц в исследуемом потоке. Описанный метод позволяет наряду с регистрацией частиц в присутствии фона осуществлять анализ по скоростям и, соответственно, по энергиям частиц с известной массой.

#### 4.3.3. Лабораторные макеты детектора.

Нами были разработаны и исследованы характеристики трех (А, Б и В) лабораторных макетов ВП детектора-энергоанализатора (ДЭА) нейтральных частиц (рис.2), подробно описанных в [4 - 6].

В ДЭА-А (рис.2-а) использован одноканальный режим ВП анализа. Эмиттированные при прохождении частицы с выходной поверхности фольги (толщина  $80 \text{ \AA}$ ) электроны ускоряются потенциалом  $U_c = 100 \text{ В}$  и первыми регистрируются детектором (СТАРТ), в качестве которого используется блок из двух, установленных последовательно МКП с прямыми каналами в шевронной конфигурации. Затем детектор регистрирует пришедшую в него тяжелую частицу (СТОП), которая вызвала эмиссию электронов. Отметим, что ДЭА-А является весьма компактным устройством - расстояние от фольги до коллектора блока МКП составляет всего 3 см.

В ДЭА-Б (рис.2-б) реализован двухканальный режим ВП анализа с использованием двух детекторов. Сигнал СТАРТ вырабатывается при регистрации эмиттированных с входной поверхности

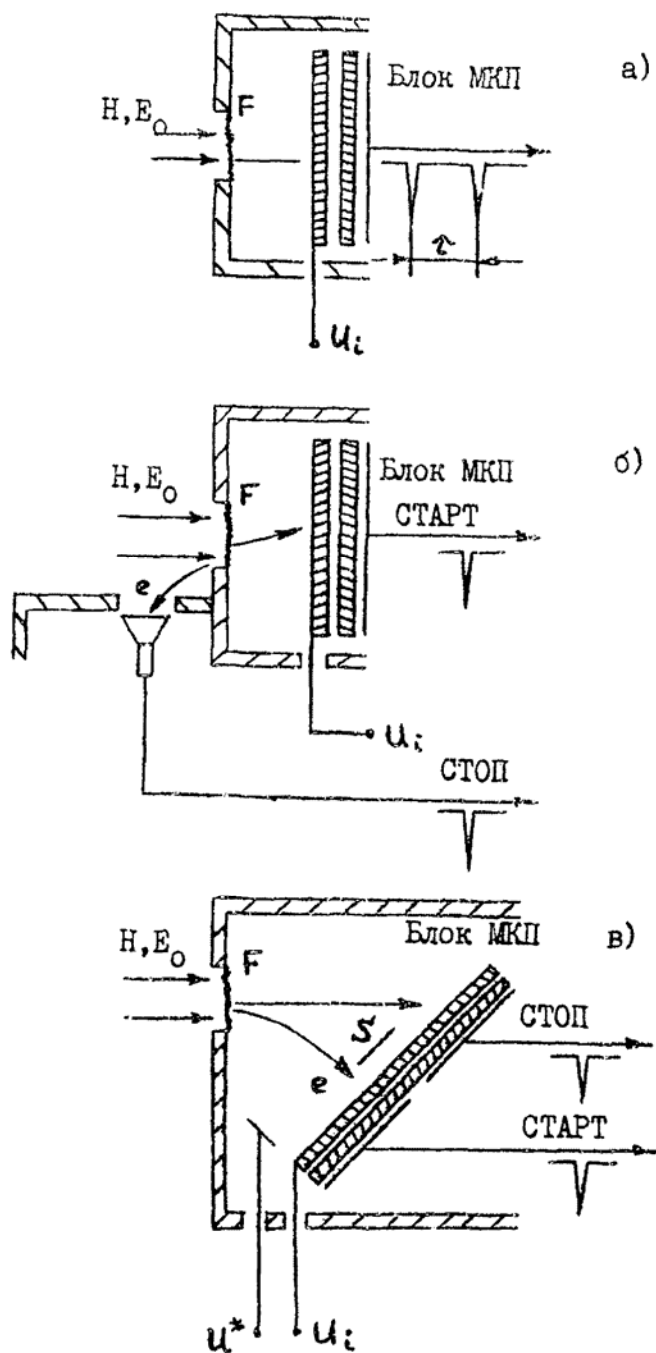


Рис.2. Разработанные макеты ВП детектора-энергоанализатора.  
 а) реализован одноканальный режим ВП анализа, б), в) реализован двухканальный режим ВП анализа.

фольги электронов каналным ВЭУ с раструбом ВЭУ-6, а сигнал СТОП - при регистрации частицы блоком МКП.

В ДЭА-В (рис.2-в) реализован двухканальный режим с использованием только одного детектора - блока МКП с разделенным на две части коллектором. Введением дополнительного электрода под напряжением  $U^*$  удалось добиться преимущественной регистрации электронов нижней половиной коллектора (СТАРТ), и преимущественной регистрации тяжелых частиц верхней половиной (СТОП).

Сигналы СТАРТ и СТОП направлялись в ВП анализатор, который был собран на основе промышленно изготавливаемых блоков в стандарте ВЕКТОР и КАМАК, управляемых мини- и микро-ЭВМ.

#### 4.3.4. Основные характеристики ДЭА.

Энергетическое разрешение и эффективность регистрации атомов Н оказались примерно одинаковыми для всех трех макетов, и возможности и характеристики ДЭА демонстрируются ниже на примере прибора типа А.

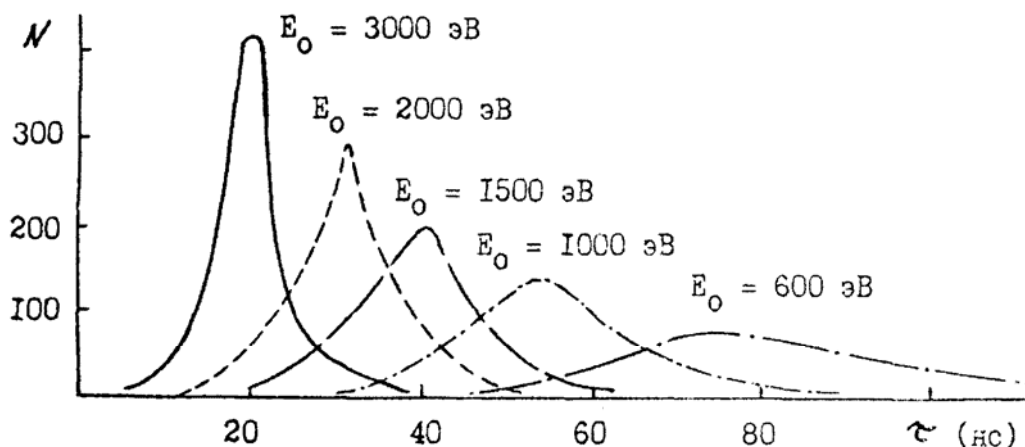


Рис.3. ВП спектры, полученные при регистрации моноэнергетических пучков атомов Н.

На рис.3 представлены ВП спектры, полученные при регистрации моноэнергетических потоков атомов Н с помощью ДЭА-А.

Энергия атомов изменялась от 600 до 3000 эВ. Кривые нормированы на полное число зарегистрированных частиц (ВП событий). На рисунке отчетливо прослеживается смещение пиков в сторону больших времен пролета с уменьшением энергии частиц  $E_0$ . Разброс временных интервалов между стартовыми и стоповыми импульсами (ширина измеренных распределений) связан с двумя обстоятельствами. Во-первых он вызван разбросом времен пролета электронов и частиц между фольгой и детектором. В зависимости от точки эмиссии и начальной энергии электрона время его пролета до детектора может несколько варьироваться. Тяжелые частицы, движущиеся после фольги по одной и той же траектории, будут иметь различающиеся скорости из-за стрэгглинга [30]. Расстояние, которое должна пролететь частица от фольги до детектора, зависит от угла рассеяния. Хотя изменение пролетного расстояния является эффектом второго порядка по углу, но рассеяние в фольге не мало. С увеличением угла рассеяния увеличивается и эффективный путь проходимый частицей в фольге и, соответственно, потери энергии. Некоторый вклад в уширение ВП спектра дает и неоднородность фольги по толщине. И во-вторых уширение ВП спектра будет определяться разбросом временных интервалов между приходом частицы в детектор и появлением сформированного импульса на его выходе (электронным джиттером), который в нашем случае составлял 5 нс и может быть снижен до 1 нс.

Энергетическое разрешение ДЭА, определяемое как  $E_1 / (E_1 - E_2)$ , где  $E_1$  и  $E_2$  - энергии регистрируемых потоков, ВП спектры которых могут быть уверенно различены, составляет  $\sim 2$ .

На рис.4 представлена зависимость эффективности регистрации  $\epsilon$  атомов Н ДЭА-А, определяемая как отношение скорости

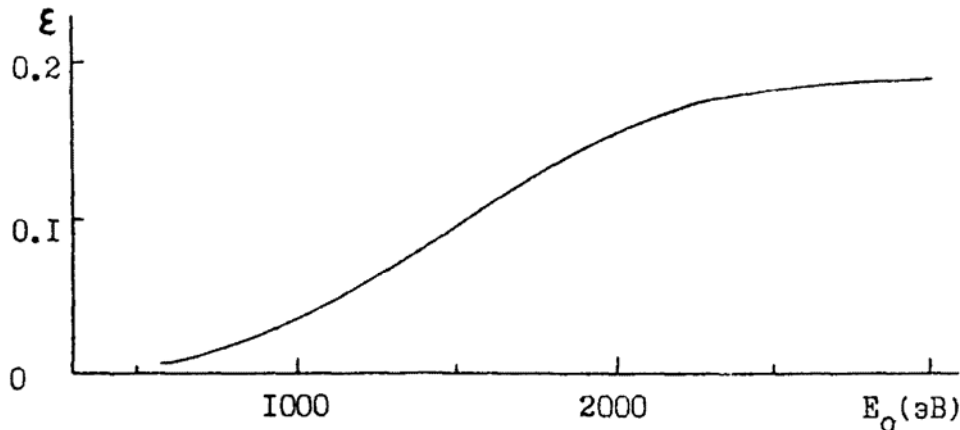


Рис.4. Зависимость эффективности регистрации  $\epsilon$  атомов H детектором-энергоанализатором от энергии частиц  $E_0$ .

счета совпадений к скорости счета вводимого в регистрируемый поток монитора пучка, в качестве которого использовался ВЗУ-6. Видно, что  $\epsilon$  падает от 20 до 1 % при уменьшении энергии атомов от 3000 до 600 эВ, а при  $E_0 = 1000$  эВ составляет  $\sim 3$  %.

Таким образом экспериментально показано, что описанный ДЭА позволяет исследовать потоки атомов H с энергией 600 - 3000 эВ с эффективностью регистрации 1 - 20 % и энергетическим разрешением  $\sim 2$ .

#### 4.3.5. Требования к бортовому прибору.

Рассмотрим теперь основные требования к прибору для исследования НСВ. На вход детектора будет поступать поток  $I_v = F_v S_d \Omega_d$  УФ фотонов, где  $S_d$  и  $\Omega_d$  - соответственно площадь детектора и телесный угол, вырезаемый детектором. Предполагается, что система защитных бленд исключает вклад прямых солнечных лучей. Скорость счета детектора будет в основном определяться потоком УФ фотонов (а не нейтральных частиц) и не должна превышать  $10^5 \text{ с}^{-1}$ . Это верхняя граница динамического диапазона по загрузкам для типичных канальных ВЗУ и МКП. Подчеркнем, что возможно увеличение этого преде-

ла до  $10^6 \text{ с}^{-1}$  (см. например [31,32]).

Наиболее уязвимой с точки зрения предельных нагрузок является работающая в одноканальном режиме и отличающаяся простотой и компактностью схема ДЭА-А. Везде далее при оценках мы будем стараться использовать наименее благоприятные значения величин. Поэтому полученный результат будет относиться к наилучшему возможному случаю. Скорость счета блока МКП складывается из регистрации фотонов, прошедших фольгу, и фотоэлектронов, эмиттированных из фольги. Очевидно

$$R_{\nu} = (\epsilon_{\nu} \kappa_{\nu} + \gamma_e \epsilon_e) F_{\nu} S_g \Omega_g < 10^5 \text{ с}^{-1}$$

где  $R_{\nu}$  — скорость счета детектора, обусловленная фотонами,  $\epsilon_{\nu}$  — эффективность регистрации фотонов блоком МКП,  $\kappa_{\nu}$  — прозрачность фольги,  $\gamma_e$  — квантовый выход для фотоэмиссии из выходной поверхности фольги,  $\epsilon_e$  — эффективность регистрации блоком МКП электронов, эмиттированных из фольги.

Будем считать, что все фоновое излучение сосредоточено в линии Лайман- $\alpha$ . Значение  $\epsilon_{\nu}$  зависит от конкретных свойств применяемых МКП и конструкции детектора, но, по-видимому, не превышает 0.03 [33,34]. Для электронов с энергией 100 эВ величина  $\epsilon_e$  для ВЭУ не превышает 0.8 [35]. К сожалению взаимодействие фотонов с тонкими фольгами изучено не достаточно хорошо. Для фольги толщиной 80 Å значения  $\kappa_{\nu}$  и  $\gamma_e$  (в предположении одинаковости величин квантовых выходов для фотоэмиссий с обеих сторон фольги) могут быть оценены как  $1.2 \cdot 10^{-1}$  и  $1.2 \cdot 10^{-3}$  соответственно [36]. Таким образом для  $S_g = 1 \text{ см}^2$  (далее везде предполагается, что детектор имеет такую площадь) получим  $\Omega_g < 2 \cdot 10^{-2}$ , что соответствует примерно  $8^{\circ} \times 8^{\circ}$ . Скорость счета фоновых совпадений  $R_c$  составит

$$R_c = \epsilon_{\nu} \kappa_{\nu} \gamma_e \epsilon_e \tau_0 F_{\nu}^2 S_g^2 \Omega_g^2$$

Как видно из рис. 3, можно считать, что  $\tau_0$  не превосходит 100 нс.

Скорость счета полезных сигналов, то есть совпадений, обусловленных регистрацией частиц, составит

$$R_n = \epsilon_n F_n \Omega_g S_g$$

Из проведенного выше обсуждения следует, что абсолютная эффективность регистрации атомов H с энергией  $E_0 = 1000$  эВ будет не меньше 0.01, а плотность потока частиц  $F_n$  — не меньше  $10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ стерад}^{-1}$ . Тогда из условия  $R_n = R_c$  получим

$$\Omega_g = \frac{\epsilon_n F_n}{\epsilon_v \kappa_v \chi_e \epsilon_e \tau_c F_v^2 S_g}$$

Подставив приведенные выше значения, для  $\Omega_g$  получаем  $3 \cdot 10^{-4}$ , что соответствует  $10^\circ \times 10^\circ$ . Скорость счета "полезных" совпадений  $R_n$  для такого телесного угла составит не менее  $0.03 \text{ с}^{-1}$ . Уменьшение телесного угла позволит увеличить отношение сигнала к шуму, но снизит  $R_n$ . Так при  $\Omega_g = 0.5^\circ \times 0.5^\circ$  скорость счета  $R_n$  составит  $0.01 \text{ с}^{-1}$ . Отметим, что увеличение площади детектора  $S_g$  приведет к необходимости уменьшения  $\Omega_g$ , если потребовать, чтобы отношение  $R_n/R_c$  оставалось постоянным, и скорость счета полезных совпадений  $R_n$  не увеличится.

Приведенные оценки получены в наименее благоприятных предположениях. Так величина  $\epsilon_n$ , видимо, окажется несколько больше (для  $E_0 = 2000$  в 3 — 4 раза). Плотность потока регистрируемых частиц  $F_n$  будет находиться в диапазоне  $3 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ стерад}^{-1}$ , что превосходит использованное для оценок значение. Величина  $F_v$  при  $\varphi \geq 2^\circ$  не превосходит  $5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ стерад}^{-1}$ , а  $\tau_0$  может быть уменьшена вдвое.

Таким образом реальные скорости счета полезного сигнала в эксперименте могут, видимо, находиться в диапазоне

$0.1 - 1 \text{ с}^{-1}$ . Однако, даже полученные в наихудших предположениях значения величин  $R_n$  делают возможным постановку эксперимента.

#### 4.3.6. Техническая осуществимость.

Существенной особенностью НСВД является то, что он может быть создан на основе существующих и многократно использовавшихся и испытанных элементов.

Фольга. Изготовление и использование тонких ( $50 - 150 \text{ \AA}$ ) фольг не вызывает особых трудностей, и они применяются для различных физических исследований [30,37]. Такие фольги использовались также в ракетных [38 - 40] и спутниковых [3] экспериментах.

Детекторы частиц. ВЗУ многократно успешно применялись в различных бортовых приборах. Появление промышленно выпускаемых сборок двух последовательно установленных МКП - ВЗУ-7 [41], которые отвечают требованиям применения в космических экспериментах, открывает благоприятные возможности использования детекторов на основе МКП.

Электроника. Электронные узлы должны включать в себя предусилители и усилители-формирователи, обеспечивающие точную (1 нс) временную привязку к моменту прихода частицы в детектор. Сформированные импульсы направляются во время-цифровой преобразователь, выдающий цифровой код, обеспечивающий точность измерения временных интервалов 1 нс. Максимальная длительность временных интервалов  $\tau_0$  зависит от величины  $L$  и в нашем случае не будет превышать 100 нс. После измерения временного интервала соответствующая ячейка памяти, в которой накапливается ВП спектр, инкрементируется. НСВД измеряет также скорости счета детекторов и скорость счета совпадений. Эти скорости

сти счета не превышают  $10^5 \text{ с}^{-1}$ .

Все описанные выше требования к электронике не представляют каких-либо технических проблем, и неоднократно применялись устройства, разработанные по гораздо более жестким требованиям.

Система светозащитных бленд является единственным исключением, которое требует новой разработки и решения. К настоящему времени успешно применялись бленды для детектора, "смотревшего" в направлении  $10 - 15^\circ$  в сторону от Солнца [22,23]. Для НСВД требуется уменьшить эту величину до  $1.5 - 2^\circ$ .

#### 4.3.7. Возможности улучшения характеристик.

Проведенные выше оценки показывают, что обсуждаемый НСВД может быть применен для исследования характеристик НСВ. Тем не менее улучшение его характеристик - особенно способности выделять сигнал из фона - остается важной задачей, поскольку это позволит сократить время набора ВП спектра, повысить точность измерений. Ниже обсуждаются некоторые возможности.

##### 4.3.7.1. Использование эффекта рассеяния в фольге.

Способность ДЭА выделять полезный сигнал из фона может

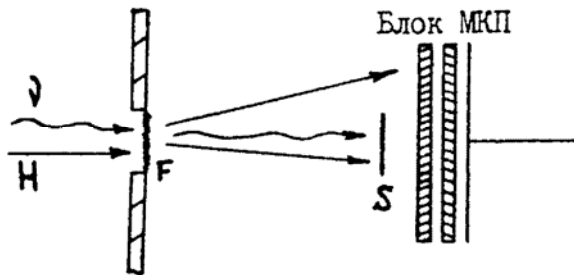


Рис.5. ВП детектор-энергoанализатор с поглощающим экраном S.

быть существенно улучшена использованием метода, предложенного и осуществленного в [38,39]. Суть его поясняет рисунок 5. Блок МКП закрывается частично экраном

S, который препятствует попаданию в детектор фотонов и час-

тиц, не рассеянных в фольге. Учитывая, что атомы с энергией 1 кэВ рассеиваются в фольге существенно сильнее фотонов, оказалось возможным улучшить отношение сигнала к фону на два порядка [38,39]. Однако эффективность регистрации частиц

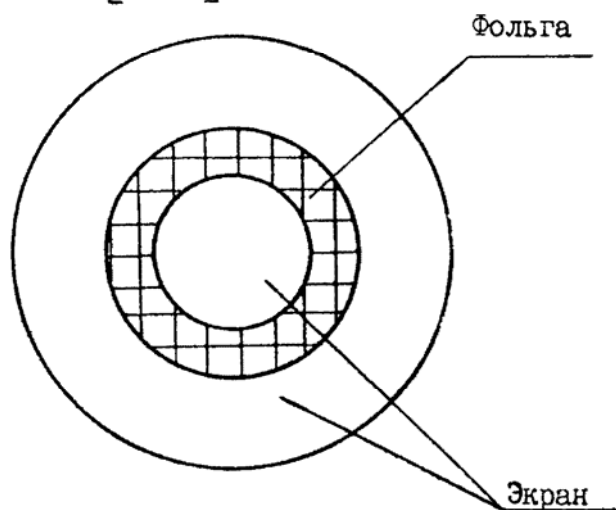


Рис.6. Входная поверхность детектора-энергоанализатора в виде кольца.

уменьшилась, по-видимому, на порядок. Потери в эффективности регистрации частиц, вызванные попаданием частиц в экран  $S$ , можно уменьшить, если использовать фольгу на входе в прибор в виде кольца, как это показано на рис.6. Аналогичную форму должен иметь и экран перед блоком МКП. Тогда при эффективной площади  $S_g = 1 \text{ см}^2$  и диаметре кольца 1.5 см его ширина составит всего 2 мм. Коэффициент поглощения частиц таким экраном окажется равным 0.2 - 0.3. Поток же УФ фотонов, рассеянных на неоднородностях фольги и попавших в блок МКП, уменьшится в ~40 раз. Таким образом можно улучшить отношение сигнала к фону более чем на порядок, незначительно снизив интенсивность полезного сигнала.

#### 4.3.7.2. Тройные совпадения.

Возможный способ улучшить отношение сигнала к фону состоит в том, чтобы формировать сигнал СТАРТ только при одновре-

менной (в пределах 5 - 10 нс) эмиссии электронов с обеих сторон фольги. Число фоновых совпадений при таком способе регистрации (то есть в режиме тройных совпадений) будет пренебрежимо мало. Для атомов H с энергией 3000 эВ эффективность регистрации частиц уменьшается на 20 %, а с энергией 1000 эВ - в 10 - 20 раз [5]. В этом случае уменьшение скорости счета полезного сигнала можно компенсировать увеличением площади детектора.

#### 4.3.7.3. Отбор по амплитудам.

Еще один способ увеличения отношения сигнала к фону состоит в дискриминации по амплитудам импульсов от детекторов. Аналогичный способ предложен в [42]. Так как при поглощении фотона в линии Лайман- $\alpha$  из фольги может эмиттироваться только один электрон (для следующего по интенсивности источника фона - линии 584 Å это уже несправедливо), а при прохождении частицы два и более, то амплитуды стартовых импульсов будут различаться. Однако и при этом эффективность регистрации нейтральных частиц снизится, вероятно, более чем на порядок.

#### 4.3.7.4. Применение специальных фильтров.

Радикальным решением проблемы увеличения отношения сигнала к фону может стать применение специальных фильтров, которые не пропускают УФ фотоны и несколько ослабляют (не изменяя другие характеристики) интенсивность потока нейтральных частиц. Такие фильтры могут найти широкое применение не только в космических исследованиях, но и в лабораторных физических экспериментах.

Известно, что если электромагнитная волна падает на достаточно толстую проводящую пластинку, то она от нее отразится.

Если в пластинке будет сквозное отверстие диаметром существенно меньшим длины волны падающего излучения, то фотоны не пройдут сквозь него.

Представляется весьма привлекательным создать пластинку из проводящего материала, толщина которой составляла бы  $\sim 10000 \text{ \AA}$  (1 мкм), в которой было бы достаточно много отверстий диаметром  $\sim 100 \text{ \AA}$ , и геометрическая прозрачность достигала  $\sim 10\%$ . Такая структура не будет практически пропускать наиболее распространенные фотоны фонового излучения ( $\lambda = 1216$  и  $584 \text{ \AA}$ ), но одновременно будет пропускать нейтральные частицы.

Оказывается, что структуры с близкими свойствами, называемые ядерными фильтрами или молекулярными ситами, могут быть созданы из пленок органических материалов или, например, пластинок слюды. При этом диаметр каналов может варьироваться от нескольких десятков ангстрем до нескольких десятков микрон, а прозрачность — достигать  $20\%$  [43 - 45]. Отношение длины таких микроканалов к их диаметру может превышать  $10^2$ . Высокая параллельность каналов обеспечивается изготовлением ядерных фильтров при облучении пленок на ускорителях тяжелых ионов [45]. Для того, чтобы такой фильтр не пропускал электромагнитное излучение, его необходимо покрыть слоем металла. Это может быть осуществлено, например, напылением. Созданный таким образом металлизированный ядерный фильтр с диаметром каналов  $\sim 1$  мкм практически полностью отражает излучение с длиной волны большей нескольких микрон [46, 47]. Уменьшение диаметра каналов до  $100 \text{ \AA}$ , что по-видимому осуществимо, позволит создать фильтры для жесткого ультрафиолета. Однако это потребует решения ряда технических проблем. Другой возможный

путь создания подобного рода структур – использование хорошо разработанной технологии изготовления МКП [48].

Можно ожидать, что применение обсуждаемого фильтра позволит увеличить отношение сигнала к фону на несколько порядков. Снижение интенсивности потока частиц можно компенсировать увеличением площади детектора. Отметим, что применение фильтра, являющегося по существу коллиматором, обеспечит узкую диаграмму направленности детектора.

#### 4.4. Сопутствующие исследования.

Для правильной интерпретации результатов исследования НСВ потребуются проведение ряда одновременных с ним измерений. В связи с тем, что НСВ обязан своим происхождением различным явлениям и процессам, то число объектов, исследовать или мониторировать которые одновременно с НСВ представляется полезным и интересным, немало. Выполнение полностью программы взаимодополняющих друг друга сопутствующих измерений, обсуждаемых ниже, превратит эксперимент в комплексное исследование с широким диапазоном научных задач.

##### 4.4.1. Солнечная активность.

Определение корреляции между характеристиками НСВ и различными проявлениями солнечной активности позволит получить информацию о процессах на поверхности и вблизи Солнца.

##### 4.4.2. Солнечный ветер.

Знание характеристик СВ является абсолютно необходимым для интерпретации данных о НСВ, так как основной механизм образования НСВ связан с взаимодействием СВ с нейтральными атомами в межпланетном пространстве.

#### 4.4.3. Нейтральный МЗГ.

Определение характеристик МЗГ, втекающего в СС, является весьма желательным. Осуществление эксперимента по непосредственной регистрации атомов межзвездного Н и межзвездного Не, достигших орбиты Земли, существенно улучшило бы наши представления о взаимодействиях между ЛМЗС и СС и уменьшило бы неоднозначность интерпретации данных о НСВ. На желательность постановки такого эксперимента неоднократно указывалось (например [II, 49, 50]), и проведение прямой регистрации межзвездного гелия запланировано в проекте ISPM. В этом эксперименте поток атомов Не с энергией 100 эВ падает на поверхность из вещества LiF (УФ фотоны в линии Лайман- $\alpha$  вызывают незначительную эмиссию электронов), и детектор (ВЭУ) регистрирует поочередно вторичные электроны и вторичные ионы [5I]. Чтобы увеличить способность детектора выделять сигнал из фона и снизить исключительно жесткие требования к поверхности (она должна многократно обновляться в процессе полета аппарата ISPM); нами было предложено использовать для регистрации технику совпадений [5]. Образующиеся при ударе атома Не о по-

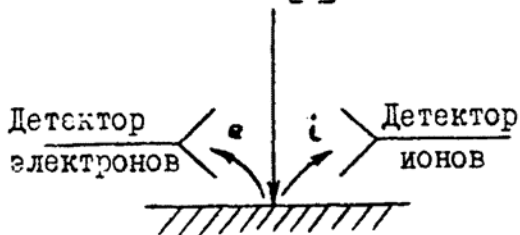


Рис.7 Регистрация атомов методом совпадений с помощью детектирования вторичных ионов и электронов.

верхности вторичные ионы и электроны регистрируются двумя отдельными ВЭУ (рис.7). С приходом атома Не отождествляется одновременная регистрация электрона и иона.

Проведенное в [5I] предварительное исследование макета детектора, использующего обсуждаемый принцип, позволило выявить некоторые технические и методические трудности и наметить пути

их преодоления.

Прямая регистрация атомов межзвездного H, энергия которых на орбите Земли несколько электронвольт, а плотность  $\sim 10^{-3} \text{ см}^{-3}$ , представлялась практически безнадежной. Однако разработка методов конверсии нейтральных атомов H в отрицательные ионы с эффективностью, существенно зависящей от их энергии (отсюда возможность селекции) и достигающей максимума ( $\sim 40\%$ ) при энергии 2.5 эВ [53 - 55], возможно потребует пересмотра такой оценки. Необходимы экспериментальные и теоретические исследования, чтобы определить перспективность этого подхода.

Применение ядерных фильтров, обсуждавшихся выше, также облегчит проведение экспериментов по непосредственной регистрации атомов MЗГ, достигших орбиты Земли.

#### 4.4.4. "Отраженный" солнечный ветер.

Вопрос о том, чем заканчивается расширение СВ, представляет значительный астрофизический интерес. Строгое теоретическое решение этой задачи чрезвычайно сложно, и рассмотренные модели не дают однозначный ответ [20, 56 - 58] и не учитывают ряд процессов, см. например [59]. В настоящее время отсутствуют какие-либо экспериментальные данные о структуре области "окончания" СВ.

В наиболее разработанных моделях сверхзвуковой поток СВ проходит сквозь ударную волну и термализуется [58]. Часть разогретых до высокой температуры и движущихся почти хаотически протонов перезаряжается на атомах MЗГ. Образующиеся нейтральные атомы водорода с энергией в несколько сот электронвольт могут достигнуть орбиты Земли. Регистрация потока

таких атомов, который можно назвать "отраженный" СВ (или его отсутствие) явились бы первым экспериментальным источником информации о процессах в области окончания СВ.

Для регистрации "отраженного" СВ также можно использовать НСВД. Однако эффективность регистрации атомов Н быстро спадает с уменьшением их энергии. Поэтому для того, чтобы определить, осуществим-ли такой эксперимент, необходимы аккуратные оценки величины ожидаемой дифференциальной (по направлению наблюдения и энергии) плотности потока атомов "отраженного" СВ на орбите Земли. Существующие оценки [60,61] нельзя признать полными и надежными.

Подчеркнем еще раз: проведение эксперимента по регистрации "отраженного" СВ позволило бы получить уникальную научную информацию, которая имела бы большую самостоятельную ценность и была полезна для интерпретации экспериментов по исследованию как НСВ так и МЗГ.

#### 4.4.5. Измерения УФ излучения.

Одним из направлений экспериментального исследования межпланетной пыли, концентрирующейся вокруг Солнца, является измерение резонансного в линиях водорода и гелия рассеяния солнечного излучения, выделяющимися из пылинок атомами [22 - 24]. Эти же атомы ответственны также за образование части потока НСВ ( $j_{\text{ГРД}}$ , см. 3.3). Очевидно, что измерение такого излучения позволит правильно оценить характеристики межпланетной пыли и ее вклад в образование НСВ.

Проведение одновременно с исследованием НСВ измерений светимости МЗГ, втекающего в СС (этот метод является в настоящее время основным инструментом исследования МЗГ [10-20]),

позволит устранить неоднозначность интерпретации и взаимодополнить данные как о НСВ, так и о МЗГ.

#### 5. Обеспечивающие исследования.

Для успешной постановки и проведения обсуждаемого эксперимента необходимо выполнить ряд дополнительных, обеспечивающих исследований.

Для определения требований к орбите КА необходимо решение задачи о "сдувании" убегающих с Земли атомов водорода, которое позволит определить границы области, в которой характеристики НСВ будут искажены перезарядкой протонов СВ на атомах земного происхождения. Отметим, что обсуждаемый эксперимент может быть использован и для исследования убегания атомов водорода.

Для определения требований к НСВД и программе измерений необходимо проведение более точных оценок ожидаемого потока НСВ и влияния на его характеристики различных процессов. Желательно построение возможно более полной модели НСВ, которая явится в будущем основой для интерпретации наблюдений. Отметим также, что в настоящее время существует расхождение в оценках значений сечений перезарядки протонов на атомах H, например [62,63], и атомах He, например [64 - 66], которые являются ключевыми в образовании НСВ. Для интерпретации наблюдений крайне важно устранить эти противоречия.

Для окончательного выбора конструктивной схемы НСВД необходимы экспериментальные исследования абсолютных значений коэффициентов фотоэмиссии и прозрачности тонких фольг для фотонов длин волн 1216 и 584 А, после импульсов ВЗУ, а также определение абсолютной эффективности регистрации таких фотонов ВЗУ и МКП.

Необходимо также подобрать оптимальную толщину фольги. Увеличение ее толщины с 80 до 160 Å, например, уменьшит, согласно [36], фоновые скорости счета  $R_b$  и  $R_c$  в 2.2 и 5 раз соответственно. Причем эти величины могут уменьшиться еще сильнее, так как фотоэмиссия с выходной поверхности фольги будет меньше чем с входной поверхности. Однако увеличение толщины фольги приведет к увеличению энергетических потерь в фольге атомами H, снижению эффективности их регистрации, ухудшению энергетического разрешения НСВД. Должен быть найден компромисс.

Абсолютно необходимым является исследование вопроса о создании системы светозащитных сленд.

Отмеченные выше дополнительные, обеспечивающие исследования обязательно должны быть выполнены для успешного осуществления программы исследования НСВ. Перечисляемые ниже пункты не являются в этом смысле необходимыми, а могут быть охарактеризованы как желательные. Их выполнение может существенно улучшить характеристики и повысить возможности НСВД, а также устранить неоднозначности интерпретации и получить принципиально новую информацию.

Разработка и изготовление металлизированного ядерного фильтра с прозрачностью 10 - 20 % и диаметром каналов 100 - 300 Å позволит существенным образом улучшить характеристики НСВД. Применение такого фильтра может позволить "замахнуться" на регистрацию "отраженного" СВ и облегчить прямое детектирование межзвездного гелия.

Продолжение разработки детектора для прямой регистрации межзвездного гелия на основе техники совпадений имеет неплохие шансы достижения требуемых для эксперимента характеристик. Проведение такого эксперимента крайне желательно для устра-

нения накопившихся противоречий в исследовании взаимодействия между ЛМЗС и СС, и вместе с экспериментом по исследованию НСВ они составят пару взаимодополняющих качественно новых экспериментов по исследованию нейтральных частиц в межпланетном пространстве.

Перспективы создания детектора для прямой регистрации атомов H межзвездного происхождения на земной орбите существенно более отдаленные и неопределенные. Создание такого детектора позволит также исследовать характеристики убегающего с Земли водорода.

#### 6. Заключение.

Проведенные в работе обсуждения и оценки показывают, что эксперимент по исследованию характеристик НСВ вполне осуществим. Ключевым элементом прибора должен стать ВП детектор-энергоанализатор нейтральных частиц, позволяющий выделять слабый полезный сигнал из существенно превосходящего его потока фонового излучения. Обсуждены научные цели, ожидаемые результаты, методика проведения эксперимента, требования к бортовому прибору, возможные пути улучшения характеристик детектора. Определены дополнительные исследования, выполнение которых обеспечит успешное проведение эксперимента. Подчеркивается, что обсуждаемый эксперимент может стать частью комплексного исследования взаимодействия СС с ЛМЗС и межпланетной пыли.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Брандт Дж. Солнечный ветер./Пер. с англ. - М.: "Мир", 1973, - 207 с.
2. Хундхаузен А.Дж. Расширение короны и солнечный ветер./Пер. с англ. - М.: "Мир", 1976. - 302.
3. Айнбунд М.Р., Богданов А.В., Вайсберг О.Л. и др: Измерение частиц малой энергии на автоматических межпланетных станциях "Марс-2" и "Марс-3". - Космические исследования, 1973, т. II, вып. 5, с. 738-742.
4. Грунтман М.А., Морозов В.А. Детектор-энергоанализатор быстрых атомов Н с использованием фольги. - Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции по физике электронных и атомных столкновений (ВКЭАС). Ленинград. ЛИЯФ, 1981, с. 291.
5. Грунтман М.А., Морозов В.А. Исследование характеристик детектора-энергоанализатора быстрых атомов Н на основе фольги. - Москва, 1981. - 66 с. - (Препринт/ИКИ АН СССР; № 667).
6. Gruntman M.A., Morozov V.A. H atoms detection and energy analysis by use of thin foils and time-of-flight technique. - J. Phys. E: Sci. Instrum., 1982, v. 15, p. 1356-1358.
7. Грунтман М.А., Морозов В.А. Время-пролетный детектор для исследования нейтральной составляющей солнечного ветра. - Тезисы докладов III Международного семинара соц. стран "Научное космическое приборостроение". Москва, ИКИ АН СССР, 1982, с. 59-50.
8. Грунтман М.А., Морозов В.А. Время-пролетный детектор для исследования нейтральной составляющей солнечного ве-

- тра. - Научное космическое приборостроение. Приборы для исследования плазмы. - М.: Металлургия, 1983, в печати.
9. Tucker W.H., Gould R.J. Radiation from a low-density plasma at  $10^6 - 10^8$  K. - *Astroph. J.*, 1966, v.144, p.244-258.
  10. Axford W.I. The interaction of the solar wind with the interstellar medium. - NASA, SP-308, 1973, p.609-660.
  11. Fahr H.J. The extraterrestrial UV-background and the nearby interstellar medium. - *Space Sci. Rev.*, 1974, v.15, p.483-540.
  12. Holzer T.E. Neutral hydrogen in interplanetary space. - *Rev. of Geophys. and Space Phys.*, 1977, v.15, No.4, p.467-490.
  13. Keller H.U., Meier R.R., Thomas G.E. Principal conclusions and results. - VI IAPAE Lindau workshop "Interstellar gas in interplanetary space", 1980.
  14. Frisch P.C. The nearby interstellar medium. - *Nature*, 1981, v.293, No.5831, p.377-379.
  15. Paresce F. Extrapolation to the nearby interstellar matter. - *Transactions of the International Astronomical Union*, 1982, v.18A, p.660-665.
  16. Blum P.W., Fahr H.J. Interaction between interstellar hydrogen and the solar wind. - *Astron. Astroph.*, 1970, v.4, p.280-290.
  17. Грунтман М.А. Нейтральная составляющая солнечного ветра у орбиты Земли. - *Космические исследования*, 1980, т.18, с.649-651.
  18. Błeszyński S., Grzędzielski S., Ruciński D., Jakiewicz. Fluxes of  $\sim 1$  keV neutral H atoms in interplanetary space; comparison with the UV background and

- the possibility of detection. - Planet. Sp. Sci., 1984, to be published.
19. Marsch E., Mülh user K.-H., Schwenn R., Rosenbauer H., Pili-  
lipp W., Neubauer F.M. Solar wind protons: three-dimensi-  
onal velocity distribution and derived plasma parameters  
measured between 0.3 and 1 AU. - J. Geophys. Res., 1982,  
v.87, p.52-72.
  20. Ripken H.W., Fahr H.J. Modification of the local interstel-  
lar gas properties in the heliospheric interface. - Astron.  
Astroph., 1983, to be published.
  21. Banks P.M. Interplanetary hydrogen and helium from cosmic  
dust and the solar wind. - J. Geophys. Res., 1971, v.76,  
No.19, p.4341-4348.
  22. Fahr H.J., Ripken H.W., Lay G. Inter-Zodiak: a high-apogee  
rocket experiment for the observation of dust-generated  
neutrals in the solar vicinity. - Proceedings of the V-th  
ESA-PAC Symp. on European rocket and balloon programmes &  
related research. ESA, SP-152, 1980, p.449-451.
  23. Fahr H.J., Ripken H.W., Lay G. Observation of dust genera-  
ted hydrogen in the solar vicinity. - In: Solar and Inter-  
planetary Dynamics, IAU, 1980, p.155-158.
  24. Fahr H.J., Ripken H.W., Lay G. Plasma-dust interactions in  
the solar vicinity and their observational consequences. -  
Astron. Astroph., 1981, v.102, p.359-370.
  25. Akasofu S.I. The neutral hydrogen flux in the solar plas-  
ma flow. - I. - Pl. Space Sci., 1964, v.12, p.905-913.
  26. Lyons R.L., Evans D.S. The inconsistency between proton  
charge exchange and the observed ring current decay. -  
J. Geophys. Res., 1976, v.81, No.34, p.6197-6200.

27. Simon P.C. Irradiation solar flux measurements between 120 and 400 nm. State of the art and future needs. - *Aeronomica Acta*, 1977, N.183.
28. Banks P.H., Kockarts G. *Aeronomy*. - Academic Press, N.Y. and London. - 1973. - Part.B, 355 p.
29. Thomas G.E., Bohlin R.C. Lyman-alpha measurements of neutral hydrogen in the outer geocorona and in interplanetary space. - *J. Geophys. Res.*, 1972, v.77, No.16, p.2752-2761.
30. Готт Ю.В. Взаимодействие частиц с веществом в плазменных исследованиях. - М.: Атомиздат, 1978. - 271 с.
31. Timothy J.G., Bybee R.L. Performance characteristics of high-conductivity channel electron multiplier. - *Rev. Sci. Instrum.*, 1978, v.49, p.1192-1196.
32. Timothy J.G., Mount G.H., Bybee R.L. Multi-anode micro-channel arrays. - *IEEE Trans.*, 1981, v.NS-28, No.1, p.689-697.
33. Coleman C.I. Imaging detectors for the ultraviolet. - *Appl. Optics*, 1981, v.20, No.21, p.3693-3703.
34. Martin C., Bower S. Quantum efficiency of opaque CsI photocathodes with channel electron multiplier arrays in the extreme and far ultraviolet. - *Appl. Optics*, 1982, v.21, No.23, p.4206-4207.
35. Olsen J.Ø. Measurement of channel electron multiplier efficiency using a photoemission electron source. - *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 1979, v.12, p.1106-1108.
36. Hsieh K.C., Keppler E., Schmidtke G. Extreme ultraviolet induced forward photoemission from thin carbon foils. - *J. Appl. Phys.*, 1980, v.51, p.2242-2246.

37. Лихтенштейн В.Х. Вторично-электронная эмиссия на прострел как метод регистрации интегральных потоков атомных частиц, испускаемых высокотемпературной плазмой. - Диагностика плазмы, Москва, Энергоиздат, 1981, вып.4(I), с.225-231.
38. Wax R.L., Bernstein W. Energy-independent detector for total hydrogen fluxes in the range 1 - 10 keV for space and laboratory applications. - Rev. Sci. Instrum., 1967, v.38, N.11, p.1612-1615.
39. Bernstein W., Wax R.L., Sanders N.L., Inouye G.T. An energy spectrometer for energetic (1 - 25 keV) neutral hydrogen atoms. - In: Small Rocket Instrumentation Techniques. North-Holland Publ. Comp., Amsterdam, 1969, p.224-231.
40. Wax R.L., Simpson W.R., Bernstein W. Large fluxes of 1-keV atomic hydrogen at 800 km. - J. Geophys. Res., 1970, v.75, No.31, p.6390-6393.
41. Айноунд М.Р., Вильдгрубе Г.С., Дунаевская Н.В., Масленков И.П., Меньшиков Г.А., Плятов Э.А. Вторично-электронные умножители ВЭУ-7 на основе микроканальных пластин. - Приборы и техника эксперимента, 1982, № 3, с.246.
42. Hsien K.C. Field ionization neutral particle analyser. - In: Cometary missions. Proceedings of a Workshop on Cometary Missions, Bamberg, 1979, p.199-209.
43. Флеров Г.Н., Барашенков В.С. Практическое применение пучков тяжелых ионов. - Успехи физических наук, 1974, т.114, вып.2, с.351-373.
44. Флейшер Р.Л., Прайс П.Б., Уокер Р.М. Треки частиц в тве-

- рдых телах: принципы и приложения. Часть 3. Ядерная физика и прикладные исследования./Пер. с англ. - М.: Энергоиздат, 1981. - 152 с.
45. Кузнецов В.И., Апель П.Ю., Самойлова Л.И. Ядерные микрофильтры. - Доклады IV Совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народно-хозяйственных задач. Дубна, ОИЯИ, 1982, P18-82-II7, с.129-137.
46. Веркин Б.И., Михальченко Р.С., Павлюк В.А., Комиссаров Я.С., Гержин А.Г., Гетманец В.Ф. Низкотемпературная теплоизоляция с использованием явления дифракции. - Инженерно-физический журнал, 1971, т.20, № 6, с.965-972.
47. Флеров Г.Н., Кузнецов В.И., Веркин Б.И., Михальченко Р.С., Першин Н.П. Теплофизические и газодинамические свойства экранно-вакуумных теплоизоляций на основе полиядерных фильтров. - Доклады IV Совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народно-хозяйственных задач. Дубна, ОИЯИ, 1982, P18-82-II7, с.150-153.
48. Washington D., Duchenois V., Polaert R., Beasley R.M. Technology of channel plate manufacture. - Acta Electronica, 1971, v.14, No.2, p.201-224.
49. Грунтман М.А. Межзвездный гелий на орбите Земли. - Москва, 1980. - 22 с. - (Препринт/ИКИ АН СССР; № 543).
50. Wallis M.K., Hassen M.H.A. Stochastic and dynamic temperature changes in the interplanetary gas. - Planet Space Sci., 1978, v.26, p.111-120.
51. Rosenbauer H., Fahr H.J., Keppler E., Witte M., Hemmerich P., Lauche H., Loidl A., Zwick R. The interstellar neutral gas experiment (KEP-3). МРАЕ-Т-77-83-13. Max-Planck -Institut für Astronomie, Lindau, 1983, BRD.

52. Грунтман М.А., Морозов В.А. Регистрация нейтральных частиц с энергией 0.15 - 3 кэВ методом совпадений. - Москва, 1983. - 43 с. - (Препринт/ИКИ АН СССР; № 765).
53. Los J., Overbosch E.A., Van Wunnik J. Positive and negative ionization by scattering from surfaces. - Proceedings of the Second Intern. Symp. on the Production and Neutralization of Negative Hydrogen Ions and Beams. 1980, p.23-32.
54. Van Wunnik J.N.M., Rasser B., Los J.  $H^-$  and  $D^-$  formation by scattering  $H^+$  and  $D^+$  from a cesiated W(100) surface. - Physics letters, 1982, v.87A, n.6, p.288-290.
55. Rasser B., Van Wunnik J.N.M., Los J. Theoretical models of the negative ionization of hydrogen on clean tungsten, cesiated tungsten and cesium surfaces at low energies. - Surface science, 1982, v.118, p.697-710.
56. Parker E.N. The stellar-wind regions. - Astroph. J., 1961, v.134, p.20-27.
57. Wallis M.K., Shock-free deceleration of the solar wind. - Nature, 1971, v.223, p.23-25.
58. Beranov V.B., Krasnobaev K.V., Ruderman M.S. On the model of the solar wind - interstellar medium interaction with two shock waves. - Astroph. Space Sci., 1976, v.41, p.481-490.
59. Грунтман М.А. Влияние нейтральной составляющей солнечного ветра на взаимодействие солнечной системы с потоком межзвездного газа. - Письма в Астрономический журнал, 1982, т.8, № I, с.48-51.
60. Patterson T.N.L., Johnson F.S., Hanson W.B. The distribution of interplanetary hydrogen. - Planet. Space Sci.,

- 1963, v.11, p.767-778.
61. Baranov V.B., Lebedev M.G., Ruderman M.S. Structure of the region of solar wind - interstellar medium interaction and its influence on H atoms penetrating the solar system. - *Astroph. Space Sci.*, 1979, v.66, p.441-451.
  62. Fite W.L., Smith A.C.H., Stebbings R.F. Charge transfer in collisions involving symmetric and asymmetric resonance. - *Proc. Roy. Soc.(London)*, 1962, v.A-268, p.527 - 533.
  63. Lüdde H.J., Dreizler R.M. Direct and capture processes in proton-hydrogen scattering: II. Total cross-sections for bombarding energies of 1 to 50 keV. - *J. Phys. B: At. Mol. Phys.*, 1982, v.15, p.2703-2711.
  64. Афросимов В.А., Мамаев Ю.А., Панов М.Н., Федоренко Н.В. Исследование методом совпадений элементарных процессов изменения зарядовых состояний при взаимодействии протонов с атомами инертных газов. - *Журнал технической физики*, 1969, т.39, с.159-165.
  65. Risley J.S., Britt R.D. Single and double electron transfer cross-sections for protons on atomic and molecular targets. - *Proceedings of XI-th Intern. Conf. on Physics of Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC)*, 1979, Kyoto, p.478-479.
  66. Benoit-Garzon C. Etude des collisions entre atomes d'hydrogène ionisés ou neutres et atomes de gaz rares. Thèse doct. sci. phys. Univ. Paris, 1976, 130 p.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. Введение.	3
2. Научные цели.	4
3. Ожидаемые результаты	4
3.1. Характеристики НСВ	5
3.2. Локальная межзвездная среда	6
3.3. Межпланетная пыль	7
3.4. Солнечный ветер	8
3.5. Магнитосфера Земли	9
4. Эксперимент	10
4.1. Идеология эксперимента	10
4.2. Требования к орбите КА	10
4.3. Исследование характеристик НСВ	11
4.3.1. Идея метода	12
4.3.2. Реализация метода	13
4.3.3. Лабораторные макеты детектора	14
4.3.4. Основные характеристики ДЭА	16
4.3.5. Требования к бортовому прибору	18
4.3.6. Техническая осуществимость	21
4.3.7. Возможности улучшения характеристик	22
4.3.7.1. Использование эффекта рассеяния в фольге	22
4.3.7.2. Тройные совпадения	23
4.3.7.3. Отбор по амплитудам	24
4.3.7.4. Применение специальных фильтров	24
4.4. Сопутствующие исследования	26
4.4.1. Солнечная активность	26
4.4.2. Солнечный ветер	26
4.4.3. Нейтральный МЗГ	27

4.4.4. "Отраженный" солнечный ветер	28
4.4.5. Измерения УФ излучения	29
5. Обеспечивающие исследования	30
6. Заключение	32
Литература	33
Оглавление	41

055/02/2

Ротапринт ИКИ АН СССР  
Москва, 117810, Профсоюзная, 84/32

---

Г - 05670

Подписано к печати 30.05.83

---

Заказ *4118*    Формат 61x86/8    Тираж 80    1,8 усл.печ.л