

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

К 903

13-88-470 e

М.В.Куликов, В.В.Фимушкин, Г.П.Цвинева

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
АТОМНОГО ПУЧКА
ИСТОЧНИКОВ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ ЧАСТИЦ
И СТРУЙНЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ МИШЕНЕЙ
НА ПЭВМ "ПРАВЕЦ-16"

1988

1. ВВЕДЕНИЕ

Источники поляризованных частиц (ИПЧ) и поляризованные мишени являются важными элементами оснащения поляризационных экспериментов на синхротронах. В большинстве ИПЧ (в т.ч. в "Полярисе"^{/1/}) и струйных поляризованных мишенях чаще реализуется метод атомного пучка^{/2/}.

Для изучения возможности повышения интенсивности источника "Полярис" и разработки струйной поляризованной мишени по проекту "Парус-Нептун" создана версия программы, позволяющей моделировать взаимодействие атомного пучка изотопов водорода (H и D) с неоднородными полями разделительных мультипольных магнитов.

Первоначальный вариант подобной программы был написан Главишем^{/3/}. К настоящему времени имеются несколько версий этой программы (например,^{/4/}), причем реализованных на основе различных численных методов при использовании различных входных и выходных параметров.

Предлагаемая версия программы (геометрия задачи показана на рис. 1) позволит:

- рассчитывать любые из четырех состояний атомов H и любые из шести состояний атомов D,
- использовать в расчетах квадрупольные и шестипольные магниты,
- автоматически задавать границы фазового объема начальных состояний атомов пучка.

Программа написана на Фортране и адаптирована на ПЭВМ "Привец-16", имеющей сопроцессор и объем оперативной памяти 256 кбайт.

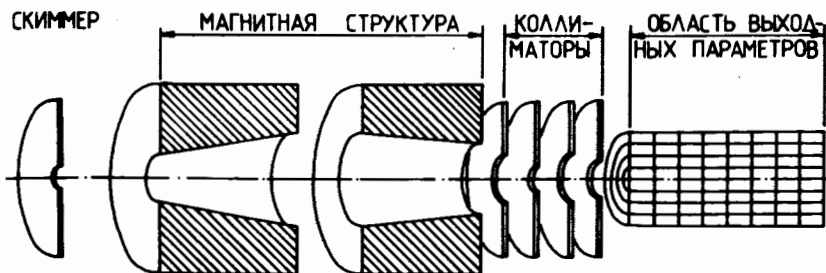
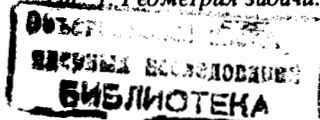


Рис. 1. Геометрия задачи.



Задача с реальной структурой ИПЧ "Поляриса" при 40000 элементах фазового объема начальных состояний атомов рассчитывается примерно за 50 минут. При уменьшении числа элементов фазового объема до 10000 значения величин выходных параметров изменяются на 10-15%, а время счета уменьшается до 13 минут.

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Программа интегрирует приведенный к сепаратору акцептанс заданного сечения по фазовому объему начальных состояний атомов пучка с учетом функции распределения по скоростям.

Программа вычисляет в нескольких точках за магнитом вдоль его оси следующие параметры атомного пучка:

- поток атомов через заданное сечение,
 - дискретное распределение интенсивности по радиусу,
 - распределение потока по скоростям,
 - дискретное распределение плотности по радиусу,
 - значение средней плотности внутри заданного сечения,
 - эффективную толщину пучка как мишени в зависимости от прицельного параметра,
 - оценивает двумя способами эффективный поперечный размер пучка,
 - светимость L для нескольких значений размера ускоренного пучка,
 - поляризацию пучка P и параметр $P^2 \cdot L$,
 - эффективную толщину пучка для продольного ионизатора.
- Блок-схема программы представлена на рис. 2.

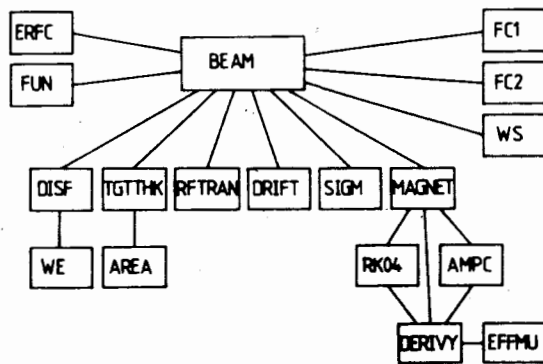


Рис. 2. Блок-схема программы.

3. ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЗАЛОЖЕННАЯ В ПРОГРАММЕ

Возможность создания такой достаточно простой программы связана с тем, что в реальных установках за сепаратором (скиммером) реализуется молекулярный режим течения. Таким образом, можно рассматривать отдельные атомы, взаимодействующие только с неоднородными полями магнитов.

Известно, что поле внутри магнитных структур с $2N$ полюсами, имеющими форму магнитных эквипотенциалей в сечении, и постоянной апертурой по длине определяется магнитным потенциалом вида ^{1/2/}:

$$\psi = r^N \sin N \phi,$$

$$B = | -\vec{\nabla} \psi | = N \cdot r^{N-1},$$

т.е. поле не зависит от ϕ . Сила, действующая на атом в магнитном поле:

$$F_r = -\mu_{\text{eff}} (B) \cdot \frac{\partial B}{\partial r},$$

где μ_{eff} — эффективный магнитный момент атома.

Данная модель предполагает, что:

— поле B пропорционально r^{N-1} вплоть до $r = r_0$ (r_0 — радиус апертуры магнита), что для не очень малых апертур ≥ 10 мм хорошо согласуется с измеренными зависимостями поля ^{1/3/},

— не рассматривают атомы, удалившиеся от оси на расстояния $r > r_0$. Это можно оправдать тем, что полюса магнита сложно сделать точно совпадающими с идеальными эквипотенциалами и на расстояниях $r > r_0$ градиент поля быстро падает;

— пренебрегают изменением продольной скорости атомов вследствие взаимодействия с продольным градиентом поля на концах магнита и продольным градиентом поля внутри магнита с переменной по ходу пучка апертурой;

— пренебрегают "провалом" радиальной компоненты поля на краях магнитов; так как, например, в шестиполосном магните поле квадратично совпадает к оси, то "провал" поля существенно меньше, чем в случае постоянного поля, при котором характерный размер "провала" порядка r_0 ;

— пренебрегают рассеянием атомов на остаточном газе;

— считают, что распределение скоростей в сечении сепаратора описывается зависимостью вида:

$$f(v) = v^2 \cdot \exp \left\{ -\frac{(v - v_D)^2}{2kT/m} \right\},$$

что неплохо согласуется с экспериментальными данными ^{1/8/}.

В таких условиях движение атома может быть описано в цилиндрических координатах:

$$\frac{d^2 r}{dz^2} + \frac{(m r_{нач}^2 \dot{\phi}_{нач})^2 / 2m}{m v_{ll}^2 / 2} \cdot \frac{1}{r^3} + \frac{N-1}{2} \frac{\mu_{eff}(B) \cdot B_0(z)}{m v_{ll}^2 / 2} \frac{1}{r^{N-2}} = 0,$$

где $r_{нач}$, $\dot{\phi}_{нач}$ — расстояние атома до оси и угловая скорость атома в сечении сепаратора (скимера).

Численно решая уравнение

$$\frac{d^2 r}{dz^2} + F(r, z) = 0$$

и сравнивая текущий радиус траектории r с текущей апертурой структуры, можно сделать вывод о том, может ли атом продолжать движение.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА

В качестве примера, иллюстрирующего возможности программы, на рис. 3 представлены зависимости отношения потоков атомов через сечение $\varnothing 2$ см на расстоянии 95 см от магнита и через входную апертуру магнита для различных параметров потока (чисел Маха) от значения наиболее вероятной скорости распределения. Там же представлен "спектр проницаемости" (предел предыдущей величины при $M \rightarrow \infty$, т.е. при монохроматическом пучке). Видно, что при эффузном истечении атомов из сопла предпочтительным является поток с наиболее вероятной скоростью 750 м/с ($T = 43$ К), в то время как для потока

с большим числом Маха ($M > 3$) предпочтительными являются потоки с наиболее вероятными скоростями 540 м/с ($T = 2,3$ К) и 1000 м/с ($T = 7,9$ К). Зависимости рассчитаны для реальной магнитной структуры установки "Полярис" (рис. 5). Очевидно, что для оптимизации и конструирования магнитной

Рис. 3. Зависимость отношения полных потоков через сечение 2 см, $x = 95$ см и через входную апертуру магнита от наиболее вероятной скорости.

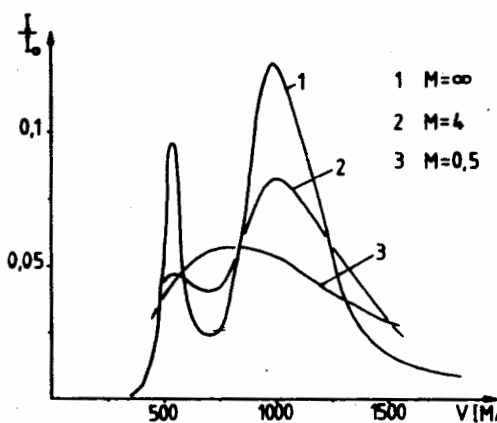
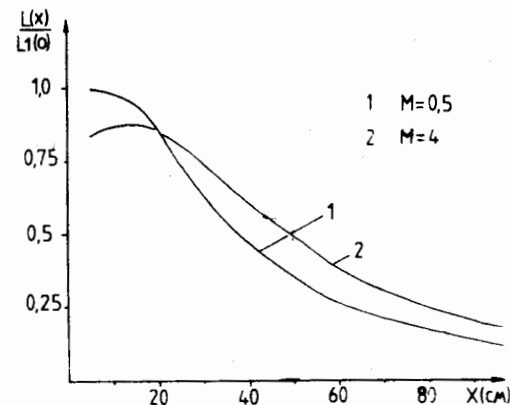


Рис. 4. Зависимость светимости системы атомный пучок D — ускоренный пучок от расстояния до конца магнита.



структуры необходимо знать реальное распределение скоростей атомного пучка в сечении сепаратора, которое может быть получено, например, при использовании времяпролетной методики.

На рис. 4 представлены расчетные параметры светимости системы — пучок атомов дейтерия ($v_{н.в.} = 1000$ м/с) и пучок ускоренных частиц (эффективный диаметр пучка 6 мм) в зависимости от расстояния от конца магнита для структуры установки "Полярис".

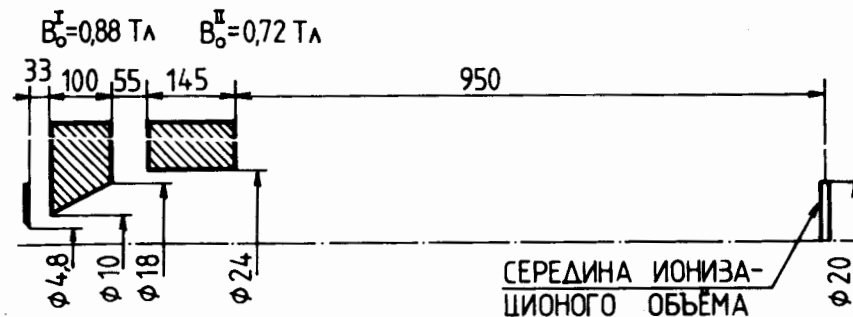


Рис. 5. Геометрия реальной структуры установки "Полярис".

5. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ С ПРОГРАММОЙ

Шаг разбиения фазового объема по радиусу, углом и модулю скорости в каждом конкретном случае подбирается экспериментально. Меняя шаг разбиения, можно увидеть, как изменяются интересующие нас параметры. Очевидно, что интегральные параметры (полный поток, средняя плотность) менее чувствительны к изменению числа шагов, чем параметры, описывающие дискретные распределения.

Для реальной структуры установки "Полярис" были найдены значения числа шагов по радиусу, по углу в r -направлении, по углу

в ϕ -направлении и по модулю скорости соответственно 10, 20, 20, 10. При уменьшении этих величин до 7, 15, 15, 7 изменение параметра полной интенсивности составило ~10%, а величин дискретного распределения интенсивности по радиусу ~20%.

Шаг разбиения магнитов по длине также подбирается экспериментально. В случае "Поляриса" для первого магнита был выбран шаг 1 см, для второго — 1,4 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belushkina A.A. et al. *High Energy Physics with Polarized Beams and Polarized Targets*, Basle, 1981, p.492.
2. Поляризация нуклонов. Труды Международной конференции по поляризационным явлениям в ядерных реакциях. Базель, 1960. М.: Госатомиздат, 1962.
3. Glavish H.F. *Proc. Fourth Int. Symp. on Polarization Phenomena in Nuclear Reactions*, Zurich, 1975, p.844.
4. Mathews H.G., Ph. D. Thesis, University of Born, 1979.
5. Евстигнеев А.В., Попов С.Г., Топорков Д.К. Препринт 84-51 ИЯФ СО АН СССР, Новосибирск, 1984.
6. Kubischta W. *Atomic Hydrogen Velocity Distribution Measurements*, CERN PS/DL/Note, 77-5, Geneva, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 июня 1988 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. (2 тома)	7 р. 75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р. 00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р. 80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р. 75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р. 50 к.
—	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. (2 тома)	13 р. 50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. (2 тома)	7 р. 35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. (2 тома)	13 р. 45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986.	7 р. 10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа - 86". Дубна, 1986.	4 р. 45 к.
Д4-87-692	Труды Международного совещания по теории малочастичных и кварк-адронных систем. Дубна, 1987.	4 р. 30 к.
Д2-87-798	Труды VIII Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1987.	3 р. 55 к.
Д14-87-799	Труды II Международного симпозиума по проблемам взаимодействия мюонов и пионов с веществом. Дубна, 1987.	4 р. 20 к.
Д17-88-95	Труды IV Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1987.	5 р. 20 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Куликов М.В., Фимушкин В.В., Цвинева Г.П. 13-88-470
 Программа расчета параметров атомного пучка источников поляризованных частиц и струйных поляризованных мишеней на ПЭВМ "Правец-16"

Описывается программа расчета параметров атомного пучка источников поляризованных частиц и струйных поляризованных мишеней. Программа адаптирована на ПЭВМ "Правец-16", имеющей сопроцессор. Программа позволяет рассчитывать любые из четырех состояний атомов водорода и любые из шести состояний атомов дейтерия, а также вычисляет распределения интенсивности и плотности пучка за фокусирующими магнитами, средние значения интенсивности и плотности, эффективную толщину пучка как мишени и ряд других параметров. Данные выводятся в отдельный файл в удобном для чтения формате.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Kulikov M.V., Fimushkin V.V., Tsvineva G.P. 13-88-470
 Program for Calculating Parameters of Atomic Beam of Polarized Particle Source and Jet Polarized Targets on PC "Pravets-16"

Program for calculating the parameters of atomic beam of polarized particle sources and jet polarized targets is described. The program is adapted on PC "Pravets-16" having a coprocessor. It permits to calculate any of four states of hydrogen atoms and any of six states of deuterium atoms. It calculated the distributions of intensity and density of the beam behind the focusing magnets, average values of intensity and density, effective thickness of the beam as target and other parameters. The data are extracted into separate file in a readable format.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988