

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА**

---

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ имени Д.В.СКОБЕЛЬЦЫНА**

**Ю.А. Белкова, Я.А. Теплова**

**РАВНОВЕСНЫЕ И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ  
СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ  
ГАЗОВЫЕ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ МИШЕНИ**

**Препринт НИИЯФ МГУ №2011-14/878**

**Москва, 2011 г.**

**УДК 539.186**

**Ю.А. Белкова, Я.А. Теплова**

e-mail: teplova@anna19.sinp.msu.ru

**Равновесные и неравновесные зарядовые состояния ионов при  
прохождении через газовые и твердотельные мишени**

Препринт НИИЯФ МГУ №2011-14/878

**АННОТАЦИЯ**

Собраны, систематизированы и проанализированы полученные в НИИЯФ МГУ экспериментальные данные по равновесным и неравновесным зарядовым фракциям, а также средним зарядам ионов при их прохождении через газовые среды и тонкие пленки углерода и целлулоида. Рассмотрены общие закономерности формирования зарядового равновесия в ионном пучке в зависимости от основных параметров взаимодействия.

**Yu.A. Belkova, Ya.A. Teplova**

**Equilibrium and preequilibrium charge states of ions  
passing through gaseous and solid targets**

Preprint MSU SINP № № 2011-14/878

**Abstract**

This work presents a compilation, systematic and analysis of experimental data on equilibrium and preequilibrium charge fractions and mean charges of ions, passing through gaseous media and thin foils of carbon and celluloid, obtained in Laboratory of Atomic Collisions of Scobeltsyn Nuclear Physics Research Institute. The general features of charge equilibrium formation in ionic beam, depending on the main interaction parameters, are analyzed.

©Ю.А. Белкова, Я.А. Теплова

НИИЯФ МГУ, 2011

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Прохождение ионов через вещество сопровождается целым рядом процессов, подробное изучение которых ведется, начиная с работ Бора и Линдхарда [1]. Известно, что потеря и захват электронов быстрыми ионами в среде приводит к изменению величин зарядовых фракций в ионном пучке, а для достаточно толстой мишени – к установлению зарядового равновесия [2]. В этом случае средний равновесный заряд иона  $\bar{i}_{eq}$ , величина которого не зависит от начального заряда  $i_0$ , является удобным параметром для описания процесса торможения ионов. Значения равновесных зарядовых фракций и средних равновесных зарядов ионов различной энергии приведены, например, в обзорах [3,4]. Также существует много полуэмпирических соотношений, позволяющих рассчитать средние равновесные заряды для ионов с различными значениями заряда ядра  $Z$ , заряда ядра мишени  $Z_t$  и скорости иона  $V$  [3-6].

В последнее время, однако, отмечается возрастание интереса к процессу прохождения ионов через тонкие пленки, в том числе углеродные. В таких пленках быстрые ионы, как правило, не успевают достичь равновесного зарядового состояния. Следовательно, различные параметры столкновения, например, потеря энергии, могут существенно изменяться в зависимости от начального зарядового состояния налетающего иона [6] при прохождении первых нескольких атомных слоев (нескольких сотен нанометров). Таким образом, более подробное исследование неравновесных зарядовых фракций становится актуальным.

В настоящее время, однако, существуют лишь отдельные исследования неравновесных процессов, происходящих при прохождении легких ионов с зарядом ядра  $Z \leq 10$ , главным образом, через тонкие пленки углерода при энергии ионов порядка нескольких МэВ/нуклон [7-10]. Однако, сведения об аналогичных процессах для ионов с меньшей энергией недостаточны. Кроме того, все большую важность приобретает исследование других мишеней помимо углерода, например, органических пленок, что связано с расширением использования легких ионов в ионной терапии.

### Зарядовые фракции ионов

Известно, что изменение зарядового состава моноэнергетического ионного пучка, проходящего через газовую мишень, описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dF_i}{dt} = \sum_k F_k \sigma_{ki} - F_i \sum_k \sigma_{ik}, \quad \sum_i F_i = 1, \quad (1)$$

где заряд иона  $i$  может принимать значения от  $-1$  до  $Z$ . Величины зарядовых фракций  $F_i$  меняются с изменением толщины мишени  $t$ . В том случае, когда среднее время между соударениями много больше времени жизни возбужденных состояний ионов, сечения потери или захвата электрона  $\sigma_{ik}$  следует отнести к невозбужденным ионам. Это соответствует прохождению ионов через газовые среды.

Аналитическое решение (1) возможно для **двухкомпонентной системы** в виде [2]:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{1\infty} + P_1 \cdot \exp[-(\sigma_{12} + \sigma_{21})t] \\ F_2 &= F_{2\infty} + P_2 \cdot \exp[-(\sigma_{12} + \sigma_{21})t], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $F_{i\infty}$  - значения зарядовых компонент после достижения равновесия (при достаточно больших значениях  $t$ ) могут быть выражены через сечения  $\sigma_{ik}$ :

$$F_{1\infty} = \frac{\sigma_{21}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}}, \quad F_{2\infty} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}}.$$

Коэффициенты  $P_i$  определяются начальным состоянием ионного пучка и соотношением

$$F_1 + F_2 = F_{1\infty} + F_{2\infty} = 1, \text{ откуда следует } P_1 = -P_2.$$

$$\text{Если } F_{10} = 1, F_{20} = 0, \text{ то } P_1 = F_{2\infty}, P_2 = -F_{2\infty}.$$

$$\text{Если } F_{10} = 0, F_{20} = 1, \text{ то } P_1 = -F_{1\infty}, P_2 = F_{1\infty}.$$

С использованием приведенных соотношений решение (2) может быть записано в виде

$$F_i = F_{i\infty} + (F_{i0} - F_{i\infty}) \cdot \exp[-(\sigma_{12} + \sigma_{21})t]. \quad (2')$$

где  $F_{i0}$ -начальные значения соответствующих зарядовых компонент.

Двухкомпонентное приближение применяется при описании прохождения быстрых ионов, когда в пучке доминируют компоненты с  $i=Z$  и  $i=Z-1$ . Область энергии, в которой применимо это приближение, зависит от заряда ядра налетающего иона. Так, для протонов их энергия должна превышать сотни кэВ, для ионов He – 1 МэВ/нуклон, для более тяжелых ионов – несколько МэВ/нуклон.

В случае **трехкомпонентной системы** аналитическое решение также возможно при некотором соотношении между сечениям потери и захвата электрона, однако, оно существенно более громоздко и неудобно для анализа. В общем виде

$$F_i = F_{i\infty} + [P_i \cdot \exp(qt) + N_i \cdot \exp(-qt)] \cdot \exp\left(-\frac{1}{2} \sum \sigma_{ik} t\right), \quad (3)$$

где коэффициент  $q$  выражается через сечения потери и захвата электрона, а  $P_i$  и  $N_i$  зависят как от сечений, так и от начальных условий. Явный вид коэффициентов приведен в [2].

Решение задачи существенно упрощается, если одна из трех фракций существенно меньше двух других. В качестве примера рассмотрим случай, когда  $F_3 < F_1, F_2$ . Пусть для определенности  $F_{10}=1, F_{20}=0, F_{30}=0$ . Представим фракцию  $F_3$  в виде  $F_3 = \alpha F_2, \alpha < 1$ . Тогда

решение системы уравнений (1) несложно получить аналогично случаю двухкомпонентной системы:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= \frac{\sigma'_{21}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}'} + \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}'} \cdot \exp[-(\sigma_{12} + \sigma_{21}')t], & \sigma'_{21} &= \frac{\sigma_{21}}{1 + \alpha} \\
 F_2 &= \frac{\sigma'_{12}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}'} - \frac{\sigma_{12}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}'} \cdot \exp[-(\sigma_{12} + \sigma_{21}')t], & \sigma'_{12} &= \frac{\sigma_{12}}{1 + \alpha} \\
 F_3 &= \alpha F_2.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Отметим, что в выражении (4) отсутствуют сечения  $\sigma_{23}$  и  $\sigma_{32}$ , поскольку условие  $F_3 = \alpha F_2$  позволяет выразить их через другие сечения потери и захвата электронов. При этом пренебрегается захватом и потерей одновременно двух электронов, что оправдано, так как сечения кратных процессов, как правило, меньше, чем сечения потери и захвата одного электрона.

Подобный подход применим в случае, когда в начальный момент ионный пучок содержит одну из двух фракций, доминирующих после установления равновесия ( $F_{10}=1$  или  $F_{20}=1$ ). Из рассмотрения, таким образом, выпадает важный частный случай, когда в начальный момент времени ионы в пучке находятся в том зарядовом состоянии, которое при прохождении через вещество будет подавлено ( $F_{30}=1$ ).

Таким образом, при выполнении некоторых условий возможно приближенное простое аналитическое решение системы (1), которое может быть записано в виде

$$F_i = F_{i\infty} + (F_{i0} - F_{i\infty}) \cdot \exp[-\beta_i t], \tag{4'}$$

где  $F_{i\infty}$ ,  $F_{i0}$  и  $\beta_i$  зависят от сечений перезарядки и начальных условий.

Как указывалось ранее, рассмотренное приближение справедливо для описания процессов перезарядки в газовых средах. **В твердых мишенях** время между двумя последовательными столкновениями становится меньше, чем время жизни возбужденных состояний налетающей частицы, и значительная часть налетающих ионов участвует в процессах перезарядки, имея электроны в возбужденных состояниях. Подробное рассмотрение возникающих при этом эффектов было проведено Бором и Линдхардом [1] и Бетцем и Гродзинсом [11].

**Бор и Линдхард** [1] утверждали, что **изменение равновесного зарядового распределения внутри твердой мишени** связано с существенным **увеличением сечения потери электрона**, поскольку энергия связи электронов в возбужденных состояниях мала по сравнению с энергией в основном состоянии. Кроме того, захват электрона ионами, находящимися в возбужденном состоянии, может привести к тому, что полная энергия возбуждения превысит энергию связи наиболее слабо связанного электрона, и электрон

будет испущен в результате быстрого Оже-процесса за время, малое по сравнению со временем между двумя последовательными соударениями ( $\sim 10^{-15}$  с). В результате это приводит к заметному **уменьшению сечения захвата электронов**.

**Бетц и Гродзинс** [11] предложили альтернативное объяснение эффекта плотности, возникающего при прохождении тяжелых ионов через твердые мишени, согласно которому все электроны, находящиеся на внешних оболочках ионов на равных основаниях участвуют в процессах перезарядки и возбуждения. Таким образом, в равновесных условиях большое количество внешних электронов и, возможно, некоторые внутренние электроны одновременно находятся в возбужденном состоянии. Это приводит к незначительному изменению сечений перезарядки внутри твердой мишени, и **зарядовые распределения внутри газовых и твердых мишеней оказываются близкими**. В качестве подтверждения подобного толкования приводится экспериментально наблюдаемая слабая зависимость потерь энергии тяжелых ионов от того, является ли мишень твердой или газообразной. При выходе ионного пучка из мишени возбуждение ионов может быть снято в результате автоионизации, что приводит к соответствующему изменению заряда иона. Таким образом, **часть «эффекта плотности» можно объяснить событиями после, а не внутри мишени** [11].

Необходимо отметить, что при рассмотрении перезарядки ионов в твердых мишенях сама интерпретация величин сечений требует дополнительного обсуждения. В отличие от разреженного газа, в котором налетающие ионы участвуют в соударениях, находясь в основном состоянии, в твердых мишенях налетающие ионы с одним и тем же зарядом могут участвовать в столкновениях, находясь в различных возбужденных состояниях. Строгое рассмотрение задачи требует определения сечений потери и захвата электрона для каждого возбужденного состояния иона. Однако, как правило, для процессов перезарядки в твердых мишенях рассматриваются некоторые «эффективные» сечения, которые фактически являются результатом усреднения по возбужденным состояниям налетающего иона. При этом вопрос о том, какие возбужденные состояния необходимо учитывать, остается открытым. Большинство авторов считает, что можно ограничиться рассмотрением тех возбужденных состояний, для которых средний размер электронных оболочек не превышает среднее расстояние между атомами среды.

В настоящее время считается общепризнанным, что зарядовые фракции ионов в твердых мишенях отличаются от соответствующих фракций в газах. Это обосновывается результатами экспериментальных исследований неравновесных зарядовых состояний: тот факт, что регистрируемые на выходе из мишени зарядовые фракции зависят от толщины мишени и начального заряда иона, указывает на существенное влияние эффекта

плотности в объеме мишени. Изменения чувствительны к скорости  $V$  сталкивающихся частиц, к зарядам ядер иона  $Z$  и атома среды  $Z_t$ , а также к начальному заряду иона  $i_0$ . Экспериментальное исследование этих процессов представляет собой очень сложную задачу, а теоретические модели, достаточно полно описывающие явления перезарядки ионов в твердых телах, отсутствуют. Ситуация упрощается, если мы ограничимся рассмотрением прохождения относительно легких ионов, например, He, или достаточно быстрых более тяжелых ионов (с энергией  $E \geq 1$  МэВ/нуклон), у которых остаются только один или два электрона и только две зарядовые компоненты  $F_Z$  и  $F_{Z-1}$  играют существенную роль. Автоионизация для таких ионов маловероятна или невозможна, и измерения зарядовых фракций за мишенью отражают положение внутри мишени [7].

### Средние заряды ионов

Важнейшей характеристикой зарядового распределения в пучке ионов является их средний заряд

$$\bar{i} = \sum_i i \cdot F_i(t) \quad (5)$$

Классические критерии оценки среднего заряда ионов после достижения зарядового равновесия были даны Бором [1] и Лэмбом [12]. Критерий Бора предполагает, что быстрый тяжелый ион при движении через газовую среду сохраняет только те электроны, орбитальная скорость которых больше, чем скорость иона. Критерий Лэмба сводится к определению скорости электрона как  $v = \sqrt{\frac{2I_i}{m}}$ , где  $m$ - масса электрона,  $I_i$  – энергия связи внешнего электрона в ионе. В дальнейшем было получено много полуэмпирических методов определения средних равновесных зарядов в зависимости от скорости ионов, зарядов их ядер и зарядов ядер мишени, начиная с предложенного Бором [1]  $\bar{i} = Z^{1/3} \frac{v}{v_0}$ .

Дмитриевым и Николаевым [13] для области  $\frac{\bar{i}}{Z} < 0.6$  было получено выражение

$$\frac{\bar{i}}{Z} = \frac{kv}{Z^{1/2}v_0},$$

где коэффициент  $k$  принимает значения от 0.4 для ионов в аргоне до 0.35 в гелии.

На рисунке 1 представлены экспериментальные данные (значки) и результаты расчетов для многоэлектронных ионов (указаны на рисунке), проходящих через пленки углерода [5]. Сплошные кривые - результаты расчетов в различных приближениях:

$$\text{ND [13]} \quad \frac{\bar{i}}{Z} = (1 + X^{-5/3})^{-3/5}, \quad 0.3 < \frac{\bar{i}}{Z} < 0.7,$$

$$\text{TD [14]} \quad \frac{\bar{i}}{Z} = 1 - \exp(-X),$$

$$\text{SIM [15]} \quad \frac{\bar{i}}{Z} = 1 - \exp(-1.25 + 0.32X^2 - 0.11X^3), \quad (6)$$

где  $\bar{i} \equiv \bar{q}$ ,  $X = v/(v'Z^{0.45})$ ,  $v' = 3.6 \times 10^8 \text{ см/с}$ .

Пунктирные линии представляют собой экстраполированные значения, полученные для многоэлектронных ионов.

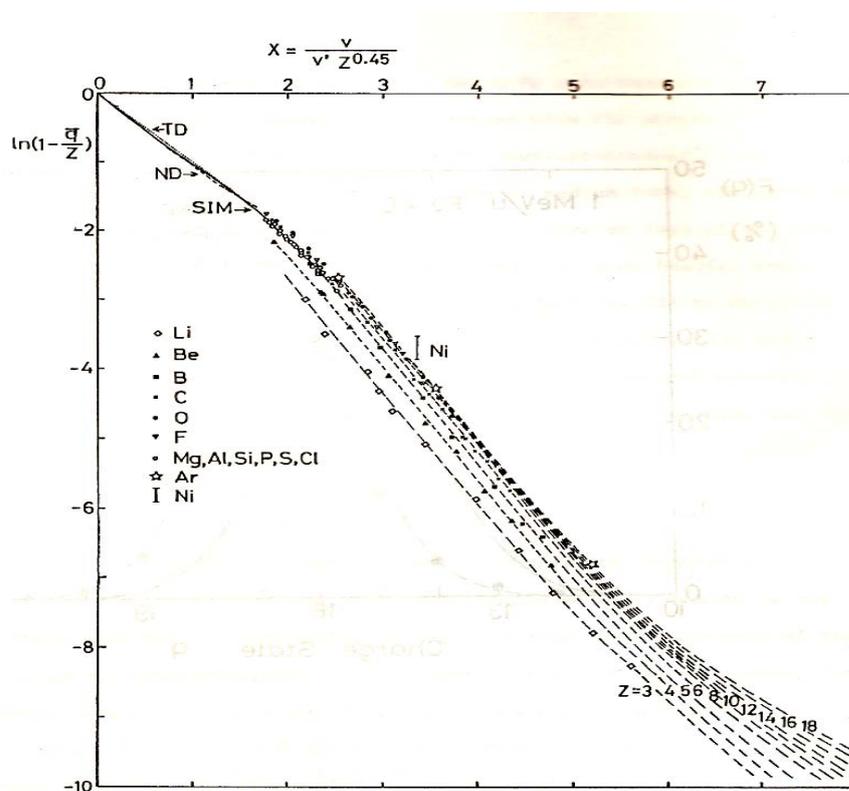


Рис.1. Экспериментальные значения  $(1 - \frac{\bar{q}}{Z})$  в зависимости от параметра  $X = v/(v'Z^{0.45})$  при прохождении многоэлектронных ионов через пленки углерода. Значки – экспериментальные данные. Кривые – результаты расчетов (6).

Универсальный метод для вычисления средних зарядов различных ионов в твердотельных мишенях был предложен Шивицем и др. [6]. На рис.2 представлены экспериментальные величины средних зарядов, отнесенные к зарядам ядер различных

налетающих ионов [6] (на рисунке обозначены цветными символами) при прохождении различных мишеней. Сплошная кривая представляет собой аппроксимацию данных эксперимента и описывается выражением

$$\bar{i} = \frac{Z(8.29x + x^4)}{0.06/x + 4 + 7.4 + x^4}, \quad (7)$$

где параметр  $x$  зависит от приведенной скорости иона:

$$x = c_1(\tilde{v}/c_2/1.54)^{1+1.83/Z}, \quad \tilde{v} = Z^{-0.543}v/v_0,$$

$$c_1 = 1 - 0.26e^{-Z_i/11}e^{\frac{(Z_i-Z)^2}{9}}, \quad c_2 = 1 + 0.030\tilde{v}\ln(Z_i).$$

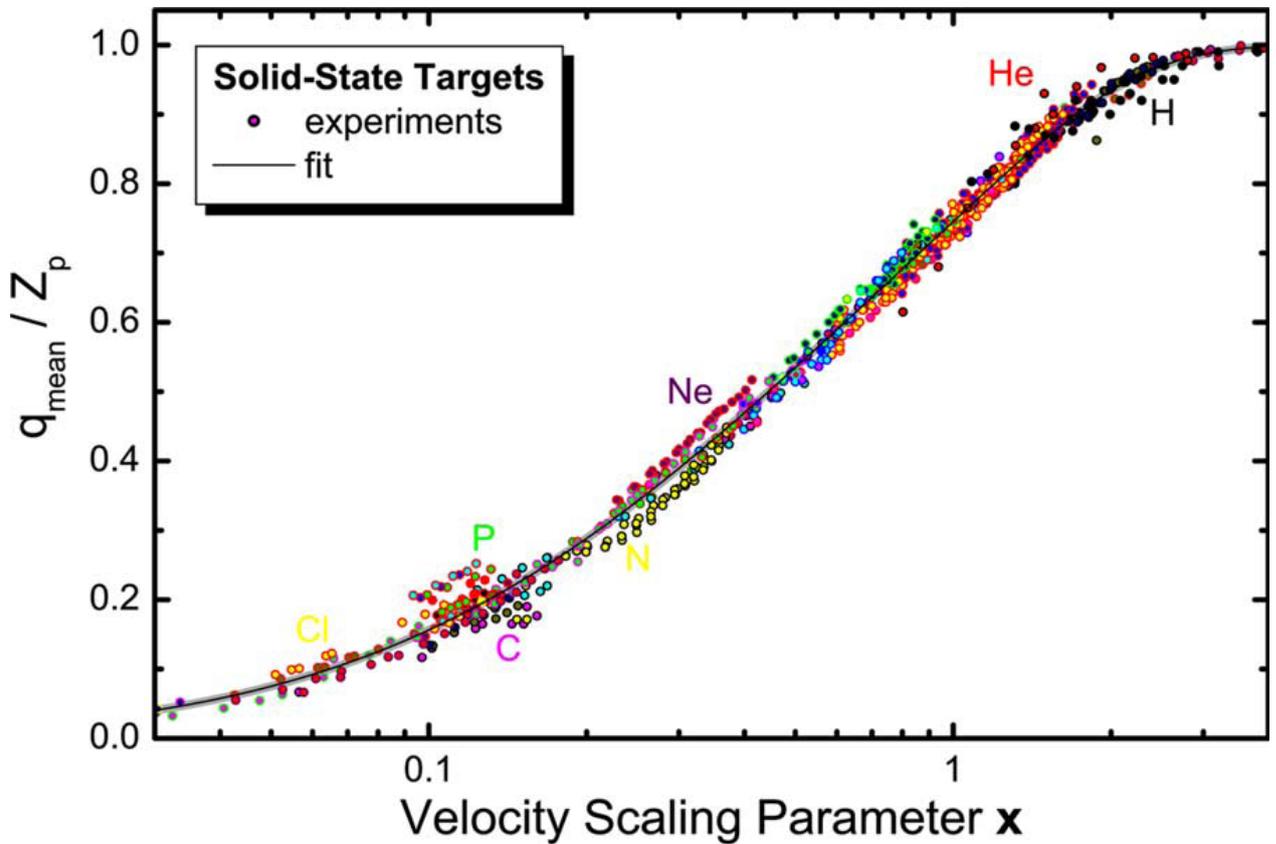


Рис.2 Средние заряды ионов  $q_{\text{mean}} \equiv \bar{i}_{eq}$ , отнесенные к заряду ядра  $Z_p \equiv Z$ , в зависимости от масштабного параметра скорости  $X$ .

Как уже было отмечено ранее, наличие возбужденных состояний ионов в пучке, проходящем через твердые среды, отвечает за увеличение сечений потери и уменьшение сечений захвата электрона по сравнению с сечениями для газа. Это вызывает соответствующее увеличение среднего заряда ионов при перезарядке в твердых телах по сравнению с перезарядкой в газах при одинаковых условиях. В настоящее время считаются установленными следующие основные закономерности в формировании среднего заряда:

1. Средний заряд ионов при перезарядке в твердых телах больше среднего заряда ионов в газах при прочих равных условиях.
2. Равновесное значение среднего заряда  $\bar{i}_{eq}$  не зависит от начального зарядового состояния иона как в газовых, так и в твердотельных мишенях.
3. При возрастании начальной скорости ионов  $\bar{i}_{eq}$  увеличивается.
4. Толщина мишени, при которой устанавливается равновесное распределение по зарядам, существенно зависит от начального заряда иона и имеет минимальное значение для  $i_0 \approx \bar{i}_{eq}$ .

В том случае, когда толщина мишени недостаточна для установления зарядового равновесия, средний заряд зависит как от толщины мишени, так и от начального заряда налетающего иона. В общем случае определение неравновесного среднего заряда требует решения системы уравнений (1). Если воспользоваться приближением (2-4), то для среднего заряда можно получить выражение

$$\bar{i} = \bar{i}_{eq} + (i_0 - \bar{i}_{eq}) \cdot \exp(-\alpha t), \quad (8)$$

где  $i_0$  – начальный заряд иона, а  $\bar{i}_{eq}$  – средний заряд в пучке ионов после установления зарядового равновесия. В зависимости от конкретных условий рассматриваемого процесса  $\alpha$  может быть постоянным и равным сумме сечений потери и захвата электрона, полученных в газовом приближении, или зависеть от начального заряда иона, его скорости и вида мишени. В последнем случае значение  $\alpha$  вычисляется на основе экспериментальных данных. Примеры проведения подобных расчетов приведены в работах [16,17].

Предложенное приближение (8) может быть успешно использовано для вычисления равновесных толщин мишени  $t_{eq}$ , при прохождении ионов через которые устанавливается зарядовое равновесие в пучке ионов. Для практических целей важно понимать, до какого момента отклонение  $\bar{i}$  от  $\bar{i}_{eq}$  является существенным. Если считать зарядовое равновесие установившимся, когда отклонение среднего заряда от  $\bar{i}_{eq}$  составляет не более 3%, то из (8) следует

$$t_{eq} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{|i_0 - \bar{i}_{eq}|}{0.03 \bar{i}_{eq}} \quad (9)$$

Расчеты равновесных толщин углеродной и целлюлоидной мишеней приведены в [16,17].

Предложенный полуэмпирический метод удобен для анализа процессов, происходящих при прохождении ионов через тонкие мишени (с толщиной меньшей, чем  $t_{eq}$ ) и позволяет существенно упростить расчеты различных физических характеристик, например, потерь

энергии ионов. Использование приближения (8) и (9) требует расширения экспериментальных исследований процессов перезарядки для более широкого набора ионов в больших диапазонах энергии и в различных мишенях.

В данной работе представлены **экспериментальные данные о равновесных и неравновесных зарядовых фракциях и средних зарядах ионов**, полученные при исследовании прохождения легких ионов с энергиями 0.04-1 МэВ/нуклон через газовые мишени, а также через пленки углерода и целлулоида. Работы были выполнены группой под руководством В.С Николаева в Лаборатории атомных столкновений ОФАЯ НИИЯФ МГУ. Результаты частично опубликованы в работах [18-33].

## Литература

1. *N.Bohr and J.Lindhard. Danske Vidensk. Selsk. Mat.-Fiz. Meddr., 1954, V.26, №12. Bohr N, Lindhard J., Kgl.Dansk.Vidensk.Selsk.Mat.Fys.Med.1954. 28. №7 .*
2. *Аллисон С., Гарсиа-Муньос М. Захват и потеря электрона при высоких энергиях. С.624-678. В кн. Атомные и молекулярные процессы. Под ред. Д.Бейтса. 1964. М. Мир.*
3. *K.Shima, N.Kuno and M.Yamanouchi. Phys. Rev.A, 1989, V.40, P.3557.*
4. *H.D.Betz. Rev. of Mod. Phys.1972, V.44, №3, P.465.*
5. *K.Shima, N.Kuno and M.Yamanouchi and Tawara H. NIFS-DATA-10. Research Report.1991. Nagoya, Japan.*
6. *G.Schiwietz, K.Czerski, M.Roth et al. Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res.B, 2004, V225, P 4.*
7. *C.J.Woods, C.J.Sofield, N.E.B.Cowern et al. J.Phys.B, 1984, V.17, P.867.*
8. *A.Blazevic, H.G.Bohlen and W.von Oertzen . Phys. Rev.A, 2000, V.61, P.032901.*
9. *B.Rosner, S,Datz, W.Wu et al. Phys. Rev.A, 1998, V.57, P.2737.*
10. *V.V.Balashov. Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res.B, 2003, V.205, P 813.*
11. *H.D.Betz and L.Grodzins. Phys. Rev. Lett. 1970, V.25, P.211.*
12. *Lamb W.E. Phys.Rev.1940. V50. P.696.*
13. *Дмитриев И.С., Николаев В.И. ЖЭТФ 1964, Т.47, С.615.*
14. *K.X.To, R.Drouin. Nucl.Instr.Methods. 1979. V.160. P.461.*
15. *K.Shima, T.Ishihara, T.Mikumo. Nucl.Instr.Methods. 1984. V.B2. P.222.*
16. *Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова. Поверхность, 2012, т.3. В печати.*

17. Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова. Известия РАН. В печати.
18. В.С.Николаев, Л.Н.Фатеева, И.С.Дмитриев, Я.А.Теплова. ЖЭФ.1957. т.32, с.965.
19. В.С.Николаев, И.С.Дмитриев, Л.Н.Фатеева, Я.А.Теплова. ЖЭТФ. 1957. т.33, с.1325.
20. В.С. Николаев, И.С. Дмитриев, Л.Н. Фатеева, Я.А. Теплова. ЖЭТФ. 1960. т. 39, с.905.
21. И.С.Дмитриев, В.С.Николаев, Л.Н.Фатеева, Я.А.Теплова. Изв. АН СССР, Сер. Физ. 1960. т.24, с. 1169.
22. В.С.Николаев, И.С.Дмитриев, Я.А.Теплова, Л.Н.Фатеева. Изв. АН СССР, Сер. Физ. 1963. Т.27, с.1078.
23. V. S. Nikolaev, I. S. Dmitriev. Phys. Let. A. 1968. v.28 , P. 277.
24. В.С.Николаев, И.С. Дмитриев. ЖТФ. 1970. т.40, с.1773.
25. Zaikov V.P., Kralkina E.A., Nikolaev V.S. et al. Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res.B. 1986. V.17. P. 97.
26. Dmitriev I.S., Zaikov V.P., Kralkina E.A.et al. Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res.B. 1986. V.14. P.515.
27. Zaikov V.P., Kralkina E.A., Nikolaev V.S. et al. Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res.B. 1988. V.33. P. 202.
28. И.С. Дмитриев, В.С.Николаев. ЖТФ 1993. т.63, с.122.
29. Я.А.Теплова, И.С.Дмитриев, Ю.А. Белкова. Изв. РАН, Сер. Физ. 2002. т.66, с.565.
30. Ю.А. Белкова, Я.А.Теплова, И.С. Дмитриев. Поверхность. 2002. №4, с.39.
31. Я.А.Теплова, И.С.Дмитриев, Ю.А. Белкова. Вестник МГУ. 2002. Сер.3, №2, с.23.
32. Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова, И.С.Дмитриев. Поверхность.2003. №4, с.74.
33. Ю.А.Белкова, Я.А.Теплова, И.С.Дмитриев. Вестник МГУ 2003. Сер.3, №3, с. 10.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

### 2.1 ОБЪЯСНЕНИЕ ТАБЛИЦ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И КОММЕНТАРИИ

Таблицы экспериментальных данных представлены в следующем порядке:

#### **Равновесные зарядовые фракции и средние заряды ионов в газовых средах (стр.14):**

равновесные зарядовые фракции и средние заряды **конкретного иона** в данной газовой среде;

рисунки, иллюстрирующие равновесные зарядовые фракции и средние заряды ионов в данной газовой среде.

В каждой таблице указываются **скорости ионов в  $10^8$  см/с.**

#### **Неравновесные зарядовые фракции и средние заряды в газовых средах (стр.25):**

неравновесные зарядовые фракции и средние заряды **конкретного иона** в данной газовой среде;

рисунки, иллюстрирующие неравновесные зарядовые фракции и средние заряды ионов в данной газовой среде.

В каждой таблице указываются **скорости ионов в  $10^8$  см/с.**

#### **Неравновесные зарядовые фракции и средние заряды в тонких пленках углерода и целлулоида (стр.33):**

неравновесные зарядовые фракции и средние заряды **конкретного иона** в пленках углерода и целлулоида;

рисунки, иллюстрирующие неравновесные зарядовые фракции и средние заряды ионов в пленках углерода и целлулоида.

В каждой таблице указываются **скорости ионов в  $10^8$  см/с.**

## 2.2 РАВНОВЕСНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ И СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

### 2.2.1 ИОНЫ ГЕЛИЯ

| СРЕДА                       | $V, 10^8 \text{ см/с}$ | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $i_{\text{cp}}$ |
|-----------------------------|------------------------|----------|----------|----------|-----------------|
| He                          | 5.97                   | 0.064    | 0.614    | 0.322    | 1.26            |
|                             | 7.92                   | 0.0003   | 0.277    | 0.72     | 1.72            |
|                             | 11.67                  |          | 0.004    | 0.96     | 1.96            |
|                             | 16.86                  |          | 0.0006   | 0.994    | 1.99            |
| N <sub>2</sub>              | 5.67                   | 0.0026   | 0.512    | 0.462    | 1.44            |
|                             | 7.92                   | 0.00005  | 0.173    | 0.827    | 1.83            |
|                             | 11.67                  |          | 0.038    | 0.962    | 1.96            |
|                             | 16.86                  |          | 0.0075   | 0.9925   | 1.99            |
| Ar                          | 5.67                   | 0.013    | 0.429    | 0.558    | 1.54            |
|                             | 7.92                   | 0.0004   | 0.101    | 0.899    | 1.9             |
|                             | 11.67                  | 0.0001   | 0.044    | 0.956    | 1.96            |
|                             | 16.86                  |          | 0.0115   | 0.9885   | 1.99            |
| Kr                          | 3.89                   | 0.14     | 0.78     | 0.08     | 0.93            |
|                             | 5.67                   | 0.014    | 0.491    | 0.491    | 1.48            |
|                             | 7.92                   | 0.0006   | 0.162    | 0.837    | 1.84            |
|                             | 11.67                  | 0.0001   | 0.076    | 0.924    | 1.92            |
|                             | 16.86                  |          | 0.016    | 0.984    | 1.98            |
| Целлуло-<br>идная<br>пленка | 6.0                    | 0.017    | 0.368    | 0.615    | 1.60            |
|                             | 8.0                    | 0.002    | 0.145    | 0.853    | 1.85            |
|                             | 18.3                   | 0.0001   | 0.005    | 0.995    | 1.995           |

## 2.2.2 ИОНЫ ЛИТИЯ

| СРЕДА                       | V, 10 <sup>8</sup> см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $i_{cp}$ |
|-----------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| He                          | 4,01                    | 0,05     | 0,78     | 0,17     | 0,002    | 1,12     |
|                             | 5,69                    | 0,014    | 0,479    | 0,478    | 0,029    | 1,52     |
|                             | 8,03                    | 0,002    | 0,116    | 0,596    | 0,286    | 2,17     |
|                             | 11,64                   |          | 0,0005   | 0,18     | 0,815    | 2,81     |
| N <sub>2</sub>              | 4,01                    | 0,03     | 0,70     | 0,27     | 0,002    | 1,25     |
|                             | 5,69                    | 0,0005   | 0,321    | 0,613    | 0,061    | 0,73     |
|                             | 8,06                    | 0,00003  | 0,0053   | 0,512    | 0,435    | 2,38     |
|                             | 11,64                   |          | 0,0005   | 0,19     | 0,805    | 2,80     |
| Ar                          | 4,01                    | 0,02     | 0,70     | 0,28     | 0,004    | 1,27     |
|                             | 5,69                    | 0,003    | 0,25,5   | 0,66     | 0,082    | 1,82     |
|                             | 8,06                    | 0,0003   | 0,031    | 0,445    | 0,524    | 2,5      |
|                             | 11,64                   |          | 0,006    | 0,221    | 0,773    | 2,77     |
| Kr                          | 4,01                    | 0,03     | 0,81     | 0,16     | 0,001    | 1,14     |
|                             | 5,69                    | 0,005    | 0,368    | 0,589    | 0,038    | 1,66     |
|                             | 8,03                    | 0,001    | 0,072    | 0,58     | 0,347    | 2,28     |
|                             | 11,64                   |          | 0,016    | 0,326    | 0,658    | 2,64     |
| Целлуло-<br>идная<br>пленка | 3,86                    | 0,05     | 0,61     | 0,33     | 0,01     | 1,29     |
|                             | 3,95                    | 0,04     | 0,59     | 0,36     | 0,01     | 1,34     |
|                             | 5,38                    | 0,01     | 0,27     | 0,60     | 0,12     | 1,84     |
|                             | 5,57                    |          | 0,28     | 0,59     | 0,13     | 1,98     |
|                             | 7,9                     |          | 0,05     | 0,39     | 0,56     | 2,51     |
|                             | 8,1                     |          | 0,04     | 0,38     | 0,58     | 2,55     |
|                             | 11,9                    |          |          | 0,16     | 0,84     | 2,78     |
|                             | 12,0                    |          |          | 0,15     | 0,85     | 2,86     |

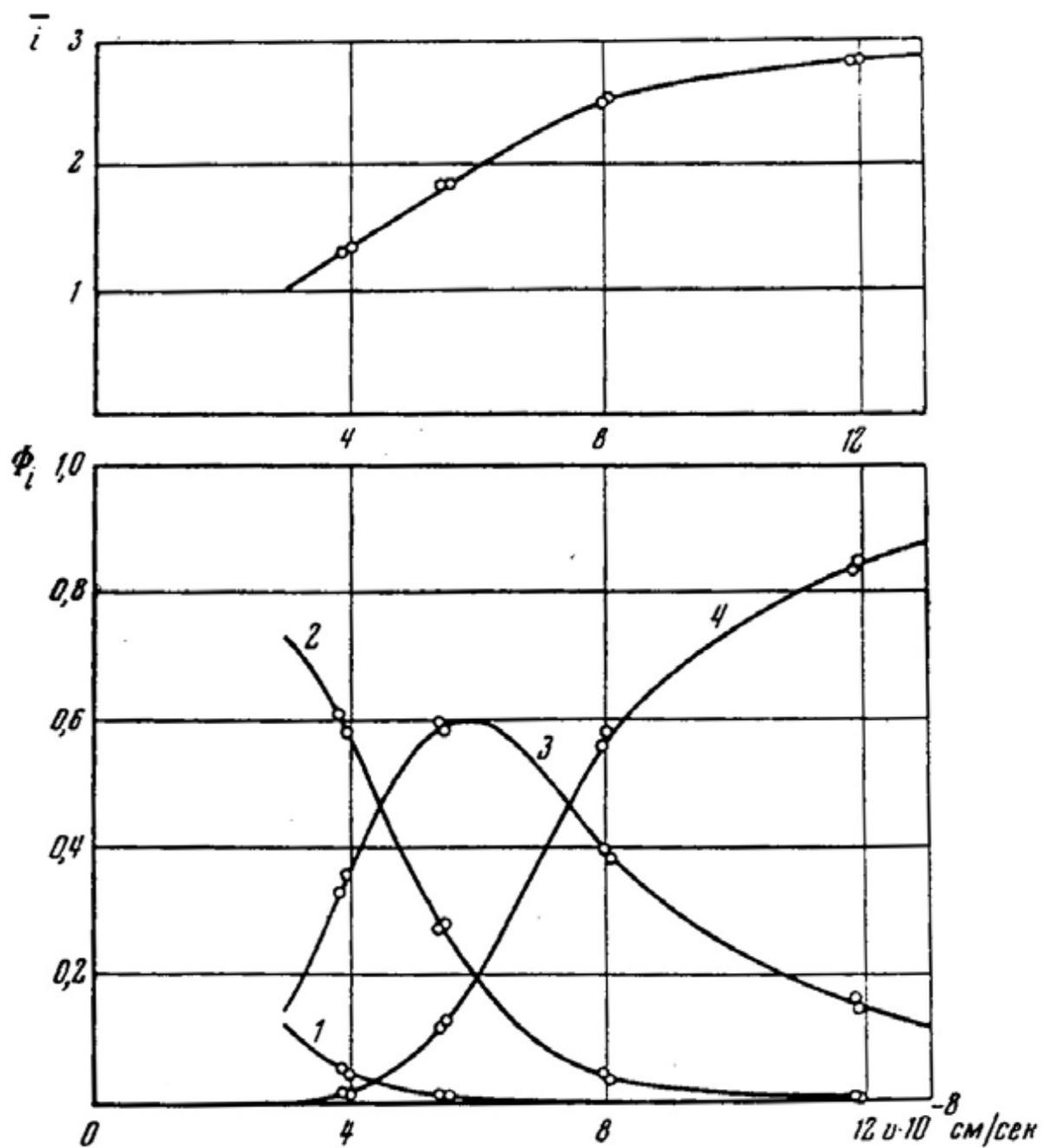


Рис.2.2.1. Равновесное распределение по зарядам  $\Phi_i$  и средний заряд  $\bar{i}$  ионов  ${}^7\text{Li}$  после прохождения целлулоидной пленки. 1-  $i = 0$ , 2-  $i = 1$ , 3-  $i = 2$ , 4-  $i = 3$ .

## 2.2.3 ИОНЫ БОРА

| СРЕДА                       | V, 10 <sup>8</sup><br>см/с | Φ <sub>0</sub> | Φ <sub>1</sub> | Φ <sub>2</sub> | Φ <sub>3</sub> | Φ <sub>4</sub> | Φ <sub>5</sub> | i <sub>ср</sub> |
|-----------------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| H                           | 3,65                       | 0,11           | 0,55           | 0,32           | 0,02           |                |                | 1,25            |
|                             | 6,5                        |                | 0,04           | 0,38           | 0,54           | 0,04           |                | 2,58            |
|                             | 7,5                        |                | 0,02           | 0,15           | 0,65           | 0,16           | 0,02           | 3,01            |
|                             | 11,2                       |                |                | 0,03           | 0,09           | 0,58           | 0,30           | 4,15            |
| He                          | 2.75                       | 0,126          | 0,0629         | 0,237          | 0,008          |                |                | 1,13            |
|                             | 3.79                       | 0,76           | 0,0527         | 0,364          | 0,033          | 0,0001         |                | 1,35            |
|                             | 7.0                        | 0,001          | 0,053          | 0,381          | 0,522          | 0,043          | 0,0003         | 2,55            |
|                             | 7.87                       | 0,0003         | 0,019          | 0,237          | 0,62           | 0,12           | 0,002          | 2,85            |
| N <sub>2</sub>              | 2.75                       | 0,102          | 0,598          | 0,288          | 0,012          |                |                | 1,23            |
|                             | 3.6                        | 0,06           | 0,44           | 0,45           | 0,05           |                |                | 1,49            |
|                             | 3.78                       | 0,042          | 0,419          | 0,475          | 0,063          | 0,0005         | 0,005          | 1,56            |
|                             | 6,4                        |                | 0,05           | 0,37           | 0,53           | 0,05           |                | 2,58            |
|                             | 7,4                        |                | 0,03           | 0,14           | 0,65           | 0,18           |                | 2,98            |
|                             | 7.87                       |                | 0,006          | 0,155          | 0,65           | 0,184          |                | 3,03            |
|                             | 11,2                       |                |                | 0,03           | 0,24           | 0,58           | 0,15           | 3,85            |
| Ar                          | 2.75                       | 0,108          | 0,594          | 0,286          | 0,012          |                |                | 1,20            |
|                             | 3.65                       | 0,03           | 0,45           | 0,46           | 0,06           |                |                | 1,55            |
|                             | 3.78                       | 0,0034         | 0,422          | 0,479          | 0,062          | 0,0006         | 0,002          | 1,57            |
|                             | 6.2                        |                | 0,05           | 0,35           | 0,56           | 0,04           |                | 2,59            |
|                             | 6.5                        |                | 0,03           | 0,31           | 0,60           | 0,06           | 0,005          | 2,69            |
|                             | 7.0                        |                | 0,001          | 0,229          | 0,662          | 0,097          |                | 2,85            |
|                             | 7.5                        |                | 0,01           | 0,13           | 0,66           | 0,18           | 0,02           | 3,07            |
|                             | 7.87                       |                | 0,003          | 0,11           | 0,675          | 0,207          |                | 3,10            |
|                             | 11.2                       |                |                | 0,03           | 0,33           | 0,53           | 0,11           | 3,72            |
| 11.3                        |                            |                | 0,03           | 0,31           | 0,54           | 0,12           | 3,75           |                 |
| Kr                          | 2.75                       | 0,162          | 0,631          | 0,203          | 0,004          |                |                | 1,05            |
|                             | 3.79                       | 0,052          | 0,481          | 0,431          | 0,036          | 0,0002         |                | 1,45            |
|                             | 7.0                        |                | 0,013          | 0,245          | 0,667          | 0,074          | 0,001          | 2,80            |
|                             | 7.87                       |                | 0,005          | 0,132          | 0,700          | 0,16           | 0,003          | 3,02            |
| Целлуло-<br>идная<br>пленка | 2.72                       | 0,081          | 0,486          | 0,366          | 0,066          | 0,0007         |                | 1,42            |
|                             | 3.05                       | 0,063          | 0,436          | 0,407          | 0,093          | 0,001          |                | 1,53            |
|                             | 3,6                        | 0,05           | 0,44           | 0,45           | 0,05           | 0,01           |                | 1,54            |
|                             | 3,77                       | 0,025          | 0,281          | 0,487          | 0,201          | 0,006          |                | 1,88            |
|                             | 6,4                        |                | 0,05           | 0,37           | 0,53           | 0,05           |                | 2,58            |
|                             | 6,98                       |                | 0,01           | 0,181          | 0,584          | 0,213          | 0,012          | 3,03            |
|                             | 7,4                        |                | 0,01           | 0,13           | 0,66           | 0,18           | 0,02           | 3,07            |
|                             | 7,63                       |                | 0,004          | 0,108          | 0,533          | 0,325          | 0,03           | 3,27            |
| 11,2                        |                            |                | 0,03           | 0,24           | 0,58           | 0,15           | 3,85           |                 |

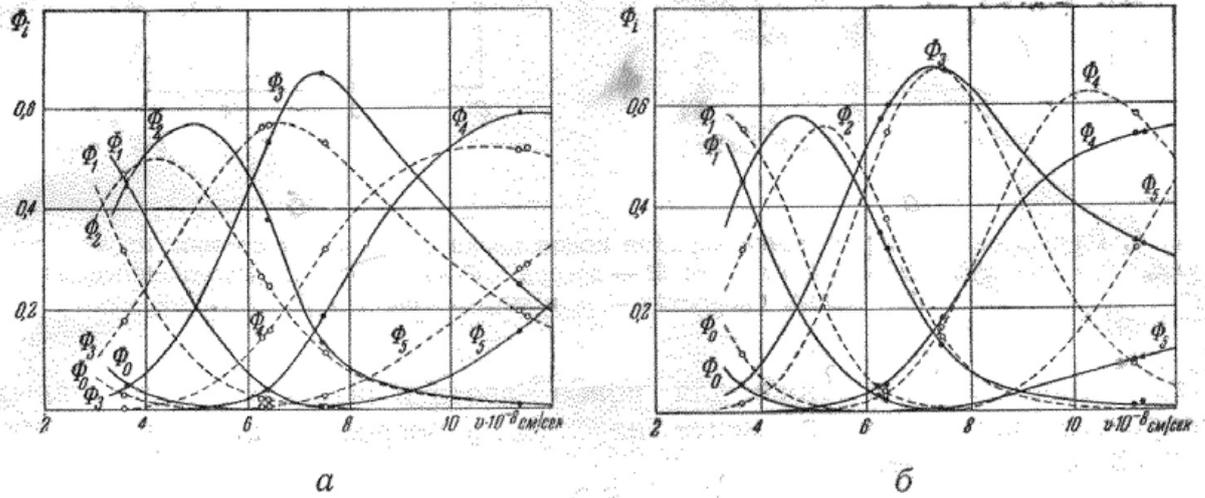
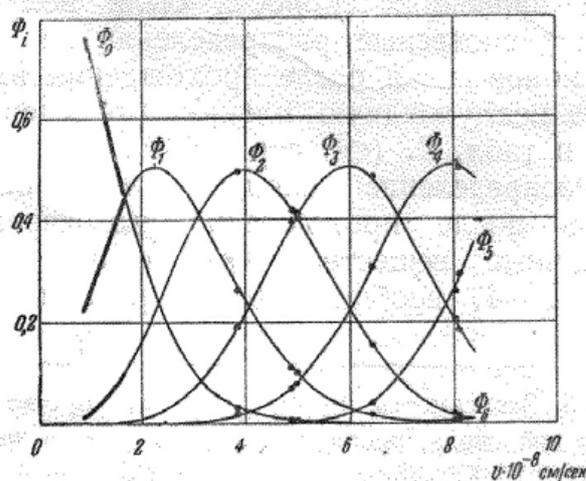


Рис.2.2.2 Равновесное распределение ионов бора после прохождения а: ● – воздуха, ○ – целлюлоидной пленки; б: ● – аргона, ○ – водорода.

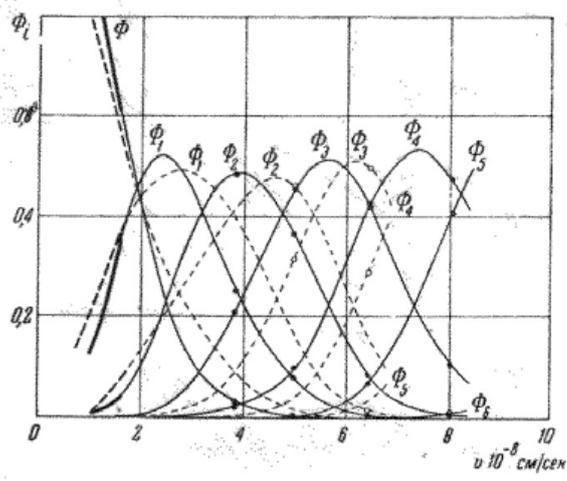
## 2.2.4 ИОНЫ АЗОТА

| СРЕДА          | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ | $\Phi_7$ | $i_{cp}$ |
|----------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| H              | 5,0               | 0,02     | 0,18     | 0,46     | 0,30     | 0,04     |          |          |          | 2,16     |
|                | 6,4               |          | 0,02     | 0,17     | 0,49     | 0,29     | 0,03     |          |          | 3,14     |
| He             | 2,60              | 0,21     | 0,47     | 0,24     | 0,06     |          |          |          |          | 1,10     |
|                | 4,11              | 0,09     | 0,38     | 0,43     | 0,10     |          |          |          |          | 1,54     |
|                | 5,69              | 0,01     | 0,15     | 0,42     | 0,35     | 0,07     |          |          |          | 2,32     |
|                | 7,02              |          | 0,04     | 0,25     | 0,47     | 0,22     | 0,02     |          |          | 2,93     |
|                | 7,91              |          | 0,01     | 0,11     | 0,43     | 0,38     | 0,07     |          |          | 3,39     |
|                | 9,15              |          |          | 0,03     | 0,25     | 0,47     | 0,24     | 0,02     |          | 4,01     |
|                | 11,64             |          |          |          | 0,02     | 0,24     | 0,56     | 0,17     | 0,01     | 4,91     |
| N <sub>2</sub> | 2,60              | 0,14     | 0,47     | 0,34     | 0,05     |          |          |          |          | 1,3      |
|                | 3,9               | 0,03     | 0,25     | 0,50     | 0,19     | 0,02     |          |          |          | 1,9      |
|                | 4,11              | 0,03     | 0,25     | 0,49     | 0,21     | 0,02     |          |          |          | 1,94     |
|                | 4,9               | 0,01     | 0,11     | 0,43     | 0,39     | 0,06     |          |          |          | 2,38     |
|                | 5,0               |          | 0,10     | 0,40     | 0,42     | 0,07     |          |          |          | 2,44     |
|                | 5,69              |          | 0,05     | 0,30     | 0,47     | 0,15     | 0,03     |          |          | 2,81     |
|                | 6,5               |          | 0,01     | 0,16     | 0,49     | 0,32     | 0,02     |          |          | 3,18     |
|                | 7,02              |          | 0,01     | 0,08     | 0,43     | 0,40     | 0,08     |          |          | 3,46     |
|                | 7,91              |          |          | 0,04     | 0,28     | 0,51     | 0,18     |          |          | 3,86     |
|                | 8,1               |          |          |          | 0,20     | 0,53     | 0,27     |          |          | 4,07     |
|                | 8,2               |          |          |          | 0,18     | 0,52     | 0,30     |          |          | 4,12     |
|                | 9,15              |          |          |          | 0,12     | 0,47     | 0,40     | 0,01     |          | 4,3      |
|                | 11,64             |          |          |          |          | 0,20     | 0,65     | 0,14     | 0,01     | 4,96     |

|                                  |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ar                               | 2,60  | 0,17 | 0,50 | 0,30 | 0,03 |      |      |      |      | 1,19 |
|                                  | 3,8   | 0,04 | 0,25 | 0,47 | 0,21 | 0,03 |      |      |      | 1,94 |
|                                  | 4,11  | 0,04 | 0,26 | 0,48 | 0,20 | 0,02 |      |      |      | 1,90 |
|                                  | 5,0   | 0,01 | 0,08 | 0,35 | 0,44 | 0,10 | 0,01 |      |      | 2,55 |
|                                  | 5,69  |      | 0,03 | 0,23 | 0,52 | 0,20 | 0,02 |      |      | 2,95 |
|                                  | 6,4   |      | 0,01 | 0,09 | 0,41 | 0,42 | 0,07 |      |      | 3,45 |
|                                  | 7,02  |      |      | 0,05 | 0,34 | 0,50 | 0,11 |      |      | 3,67 |
|                                  | 7,91  |      |      | 0,01 | 0,15 | 0,52 | 0,30 | 0,02 |      | 4,17 |
|                                  | 8,2   |      |      | 0,01 | 0,11 | 0,47 | 0,40 | 0,01 |      | 4,29 |
|                                  | 9,15  |      |      |      | 0,06 | 0,40 | 0,52 | 0,02 |      | 4,5  |
|                                  | 11,64 |      |      |      | 0,02 | 0,17 | 0,67 | 0,12 | 0,02 | 4,95 |
| Kr                               | 2,60  | 0,23 | 0,55 | 0,20 | 0,02 |      |      |      |      | 1,01 |
|                                  | 4,11  | 0,05 | 0,35 | 0,46 | 0,12 | 0,02 |      |      |      | 1,71 |
|                                  | 5,69  |      | 0,04 | 0,30 | 0,51 | 0,13 | 0,02 |      |      | 2,79 |
|                                  | 7,02  |      |      | 0,06 | 0,39 | 0,47 | 0,08 |      |      | 3,54 |
|                                  | 7,91  |      |      | 0,02 | 0,23 | 0,51 | 0,22 | 0,02 |      | 3,99 |
|                                  | 9,15  |      |      |      | 0,10 | 0,47 | 0,40 | 0,03 |      | 4,36 |
|                                  |       |      |      |      | 0,04 | 0,30 | 0,57 | 0,09 |      | 4,71 |
|                                  | 11,64 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Целлу-<br>лоид-<br>ная<br>пленка | 3,04  | 0,06 | 0,31 | 0,43 | 0,18 | 0,02 |      |      |      | 1,79 |
|                                  | 4,11  | 0,01 | 0,15 | 0,45 | 0,33 | 0,06 |      |      |      | 2,28 |
|                                  | 5,69  |      | 0,02 | 0,14 | 0,45 | 0,34 | 0,05 |      |      | 3,26 |
|                                  | 7,02  |      |      | 0,03 | 0,26 | 0,50 | 0,20 | 0,01 |      | 3,9  |
|                                  | 7,91  |      |      |      | 0,14 | 0,50 | 0,32 | 0,04 |      | 4,26 |
|                                  | 9,15  |      |      |      | 0,05 | 0,38 | 0,50 | 0,07 |      | 4,59 |
|                                  | 11,64 |      |      |      | 0,01 | 0,13 | 0,58 | 0,25 | 0,03 | 5,16 |



а



б

Рис.2.2.3. Равновесное распределение ионов азота после прохождения а: воздуха; б: ● — аргона, ○ — водорода.

## 2.2.5 ИОНЫ НЕОНА

| СРЕДА                            | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ | $\Phi_7$ | $i_{cp}$ |
|----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| H                                | 3,9               | 0,01     | 0,22     | 0,57     | 0,18     | 0,02     |          |          |          | 1,98     |
|                                  | 5,8               |          | 0,01     | 0,16     | 0,48     | 0,29     | 0,06     |          |          | 3,29     |
| He                               | 2.60              | 0,07     | 0,40     | 0,44     | 0,09     |          |          |          |          | 1,55     |
|                                  | 4,04              | 0,02     | 0,22     | 0,48     | 0,25     | 0,04     |          |          |          | 2,09     |
|                                  | 5,52              |          | 0,06     | 0,31     | 0,45     | 0,15     | 0,03     |          |          | 2,78     |
|                                  | 6,33              |          | 0,02     | 0,18     | 0,46     | 0,26     | 0,07     | 0,01     |          | 3,21     |
| N <sub>2</sub>                   | 2.60              | 0,05     | 0,41     | 0,47     | 0,08     | 0,01     |          |          |          | 1,63     |
|                                  | 3,8               | 0,02     | 0,10     | 0,44     | 0,34     | 0,08     | 0,02     |          |          | 2,42     |
|                                  | 4,04              | 0,01     | 0,10     | 0,44     | 0,37     | 0,07     | 0,01     |          |          | 2,42     |
|                                  | 5,52              |          | 0,01     | 0,12     | 0,45     | 0,32     | 0,10     | 0,03     |          | 3,38     |
|                                  | 5,7               |          | 0,01     | 0,09     | 0,37     | 0,37     | 0,13     | 0,03     |          | 3,61     |
|                                  | 6,33              |          |          | 0,05     | 0,31     | 0,44     | 0,17     |          |          | 3,82     |
| Ar                               | 2.60              | 0,04     | 0,42     | 0,44     | 0,07     | 0,02     |          |          |          | 1,59     |
|                                  | 4,04              | 0,01     | 0,11     | 0,46     | 0,33     | 0,06     | 0,02     |          |          | 2,34     |
|                                  | 5,52              |          | 0,01     | 0,11     | 0,44     | 0,34     | 0,07     | 0,02     |          | 3,43     |
|                                  | 5,8               |          |          | 0,12     | 0,42     | 0,36     | 0,07     | 0,03     |          | 3,47     |
| Kr                               | 2.60              | 0,08     | 0,53     | 0,34     | 0,05     |          |          |          |          | 1,36     |
|                                  | 4,04              | 0,02     | 0,20     | 0,52     | 0,22     | 0,04     |          |          |          | 2,06     |
|                                  | 5,52              |          | 0,03     | 0,20     | 0,48     | 0,23     | 0,06     |          |          | 3,09     |
| Целлу-<br>лоид-<br>ная<br>пленка | 2.60              | 0,03     | 0,14     | 0,36     | 0,39     | 0,08     |          |          |          | 2,35     |
|                                  | 3,8               |          | 0,01     | 0,09     | 0,36     | 0,40     | 0,12     | 0,02     |          | 3,59     |
|                                  | 4,04              |          | 0,02     | 0,08     | 0,36     | 0,41     | 0,12     | 0,01     |          | 3,56     |
|                                  | 5,52              |          |          | 0,02     | 0,09     | 0,35     | 0,39     | 0,12     | 0,03     | 4,59     |
|                                  | 5,7               |          |          |          | 0,07     | 0,27     | 0,42     | 0,20     | 0,04     | 4,87     |

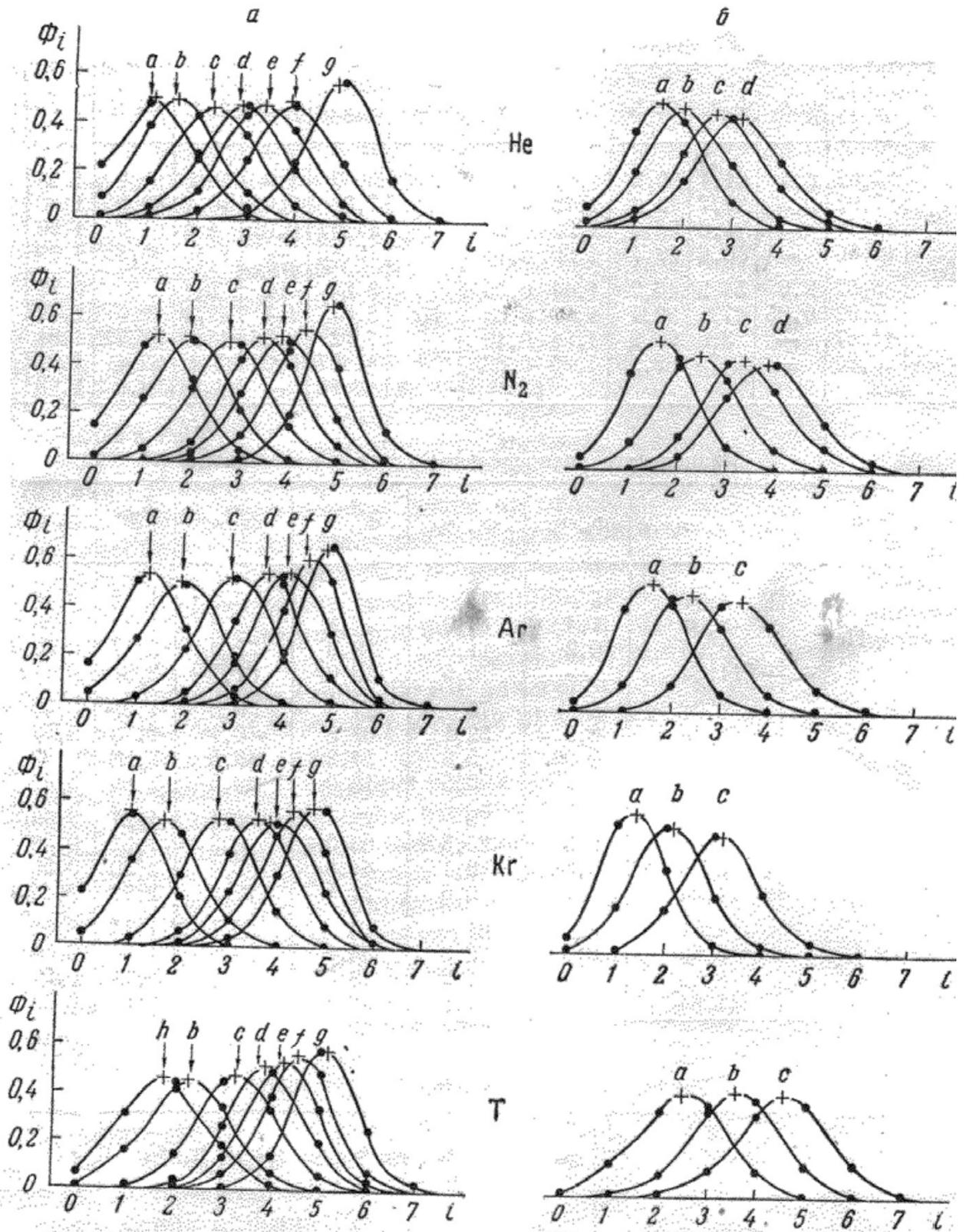


Рис.2.2.4. Равновесное распределение ионов азота (а) и неоне (б) в He, N<sub>2</sub>, Ar, Kr и целлулоидной пленке Т. Значения скорости (в единицах  $10^8$  см/с для ионов азота б 2.60(а), 4,11(б), 5,69(с), 7,02(д), 7,91(е), 9,15(ф), 11,64(г) и 3,04(х); для ионов неона 2.65(а), 4,04(б), 5,52(с), 6,33(д). Значок + дает по абсциссе значение среднего заряда.

### 2.2.6 ИОНЫ НАТРИЯ

| СРЕДА                            | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ | $\Phi_7$ | $i_{cp}$ |
|----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| He                               | 2,6               | 0,01     | 0,38     | 0,52     | 0,09     |          |          |          |          | 1,69     |
| N <sub>2</sub>                   | 2,60              | 0,01     | 0,35     | 0,55     | 0,09     |          |          |          |          | 1,72     |
|                                  | 4,15              | 0,01     | 0,07     | 0,39     | 0,40     | 0,12     | 0,02     |          |          | 2,63     |
| Kr                               | 2,60              | 0,01     | 0,60     | 0,35     | 0,03     | 0,01     |          |          |          | 1,43     |
| Целлу-<br>лоид-<br>ная<br>пленка | 2,60              |          | 0,08     | 0,30     | 0,40     | 0,20     | 0,02     |          |          | 2,87     |
|                                  | 4,15              |          | 0,01     | 0,03     | 0,28     | 0,42     | 0,28     | 0,05     | 0,01     | 4,12     |

### 2.2.7 ИОНЫ МАГНИЯ

| СРЕДА                            | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $i_{cp}$ |
|----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| He                               | 2,60              | 0,01     | 0,23     | 0,69     | 0,07     |          |          | 1,82     |
| N <sub>2</sub>                   | 2,60              | 0,01     | 0,27     | 0,64     | 0,08     |          |          | 1,79     |
| Kr                               | 2,60              | 0,01     | 0,40     | 0,55     | 0,03     | 0,01     |          | 1,63     |
| Целлу-<br>лоид-<br>ная<br>пленка | 2,60              |          | 0,03     | 0,24     | 0,44     | 0,24     | 0,05     | 3,04     |

### 2.2.8 ИОНЫ АЛЮМИНИЯ

| СРЕДА          | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ | $i_{cp}$ |
|----------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| He             | 2,60              | 0,01     | 0,21     | 0,58     | 0,19     | 0,01     |          |          | 1,98     |
| N <sub>2</sub> | 2,60              | 0,01     | 0,30     | 0,54     | 0,14     | 0,01     |          |          | 1,84     |
| Ar             | 2,60              | 0,01     | 0,11     | 0,29     | 0,57     | 0,02     |          |          | 2,48     |

|                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Kr                  | 2.60 | 0.02 | 0.43 | 0.48 | 0.06 | 0.01 |      |      | 1.61 |
| Целлюлоидная пленка | 2.60 |      | 0.02 | 0.18 | 0.42 | 0.28 | 0.09 | 0,01 | 3,27 |

### 2.2.9 ИОНЫ ФОСФОРА

| СРЕДА               | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ | $\Phi_7$ | $i_{cp}$ |
|---------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| He                  | 2.60              | 0,03     | 0,29     | 0,46     | 0,21     | 0,02     |          |          |          | 1,92     |
|                     | 4,05              | 0,01     | 0,12     | 0,44     | 0,34     | 0,08     | 0,01     |          |          | 2,39     |
| N <sub>2</sub>      | 2.60              | 0,02     | 0,27     | 0,45     | 0,22     | 0,03     | 0,01     |          |          | 2,00     |
|                     | 4,05              |          | 0,05     | 0,29     | 0,45     | 0,16     | 0,04     | 0,01     |          | 2,88     |
| Ar                  | 2.60              | 0,02     | 0,19     | 0,46     | 0,31     | 0,02     |          |          |          | 2,12     |
|                     | 4,05              |          | 0,06     | 0,30     | 0,48     | 0,11     | 0,04     | 0,01     |          | 2,80     |
| Kr                  | 2.60              | 0,04     | 0,40     | 0,44     | 0,11     | 0,01     |          |          |          | 1,65     |
|                     | 4,05              |          | 0,09     | 0,35     | 0,43     | 0,09     | 0,03     | 0,01     |          | 2,65     |
| Целлюлоидная пленка | 2,60              |          | 0,04     | 0,13     | 0,25     | 0,31     | 0,22     | 0,05     |          | 3,42     |
|                     | 4,05              |          |          | 0,02     | 0,07     | 0,19     | 0,35     | 0,27     | 0,10     | 5,08     |

### 2.2.10 ИОНЫ АРГОНА

| СРЕДА          | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ | $\Phi_7$ | $\Phi_8$ | $i_{cp}$ |
|----------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| He             | 2.60              | 0,03     | 0,24     | 0,38     | 0,24     | 0,08     |          |          |          |          | 2,13     |
|                | 4,05              | 0,01     | 0,12     | 0,34     | 0,34     | 0,16     | 0,03     |          |          |          | 2,61     |
| N <sub>2</sub> | 2.60              | 0,01     | 0,22     | 0,38     | 0,28     | 0,09     | 0,02     |          |          |          | 2,28     |
|                | 4,05              |          | 0,03     | 0,22     | 0,34     | 0,30     | 0,08     | 0,02     | 0,01     |          | 3,20     |

|                                  |              |      |              |              |              |              |              |              |              |      |              |
|----------------------------------|--------------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------|--------------|
| Ar                               | 2,60<br>4,05 | 0,01 | 0,24<br>0,04 | 0,42<br>0,22 | 0,26<br>0,34 | 0,05<br>0,28 | 0,02<br>0,09 | 0,02         | 0,01         |      | 2,16<br>2,80 |
| Kr                               | 2,60<br>4,05 | 0,01 | 0,39<br>0,07 | 0,42<br>0,32 | 0,16<br>0,24 | 0,02<br>0,20 | 0,06         | 0,01         |              |      | 1,79<br>2,89 |
| Целлу-<br>лоид-<br>ная<br>пленка | 2,60<br>4,05 |      | 0,03         | 0,15<br>0,01 | 0,29<br>0,09 | 0,26<br>0,57 | 0,17<br>0,24 | 0,08<br>0,24 | 0,02<br>0,16 | 0,09 | 3,71<br>5,08 |

### 2.2.11 РАВНОВЕСНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ И СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ ИОНОВ КРИПТОНА

| СРЕДА                            | $V, 10^8$<br>см/с | $\Phi_0$ | $\Phi_1$ | $\Phi_2$ | $\Phi_3$ | $\Phi_4$ | $\Phi_5$ | $\Phi_6$ | $\Phi_7$ | $\Phi_8$ | $i_{cp}$ |
|----------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| He                               | 2,60              | 0,02     | 0,17     | 0,38     | 0,30     | 0,09     | 0,03     | 0,01     |          |          | 2,40     |
| N <sub>2</sub>                   | 2,60              | 0,02     | 0,19     | 0,38     | 0,25     | 0,10     | 0,05     | 0,01     |          |          | 2,32     |
| Kr                               | 2,60              | 0,05     | 0,35     | 0,40     | 0,13     | 0,04     | 0,02     |          |          |          | 1,80     |
| Целлу-<br>лоид-<br>ная<br>пленка | 2,60              |          | 0,01     | 0,02     | 0,06     | 0,11     | 0,18     | 0,28     | 0,24     | 0,10     | 5,73     |

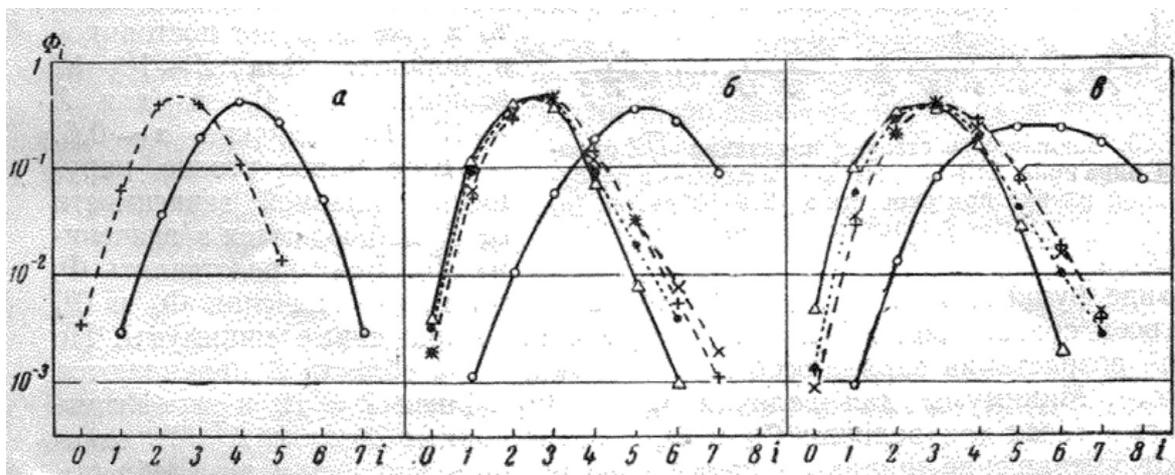


Рис.2.2.5. Равновесное распределение зарядов в пучке ионов натрия (а), фосфора (б), аргона (в):  $\Delta$  - в He, + - в N<sub>2</sub>, x - в Ar, ● - в Kr, ○ - в целлулоидной пленке. Для ионов натрия  $V = 4.15 \cdot 10^8$  см/с, для фосфора и аргона  $V = 4.05 \cdot 10^8$  см/с.

## 2.3 НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ И СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ ИОНОВ В ГАЗАХ

### 2.3.1 ИОНЫ ГЕЛИЯ

#### 2.3.1.1 Ионы гелия в гелие, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=1)$ | $I_{cp} (I_0=2)$ |
|--|------------------|------------------|
| 0  | 1                | 2                |
| 1,0                                      | 1,14             | 1,9              |
| 4,1                                      | 1,45             | 1,75             |
| 27                                       | 1,74             | 1,74             |

#### 2.3.1.3 Ионы гелия в азоте, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=1)$ | $I_{cp} (I_0=2)$ |
|--|------------------|------------------|
| 0  | 1                | 2                |
| 1,0                                      | 1,375            | 1,89             |
| 7,9                                      | 1,8              | 1,8              |

#### 2.3.1.3 Ионы гелия в неоне, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=1)$ | $I_{cp} (I_0=2)$ |
|--|------------------|------------------|
| 0  | 1                | 2                |
| 0,1                                      | 1,24             | 1,80             |
| 1,0                                      | 1,40             | 1,70             |
| 3,9                                      | 1,60             | 1,70             |

#### 2.3.1.4 Ионы гелия в аргоне, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=1)$ | $I_{cp} (I_0=2)$ |
|--|------------------|------------------|
| 0  | 1                | 2                |
| 0,1                                      | 1,05             | 1,95             |
| 1,0                                      | 1,60             | 1,9              |
| 4,1                                      | 1,85             | 1,85             |

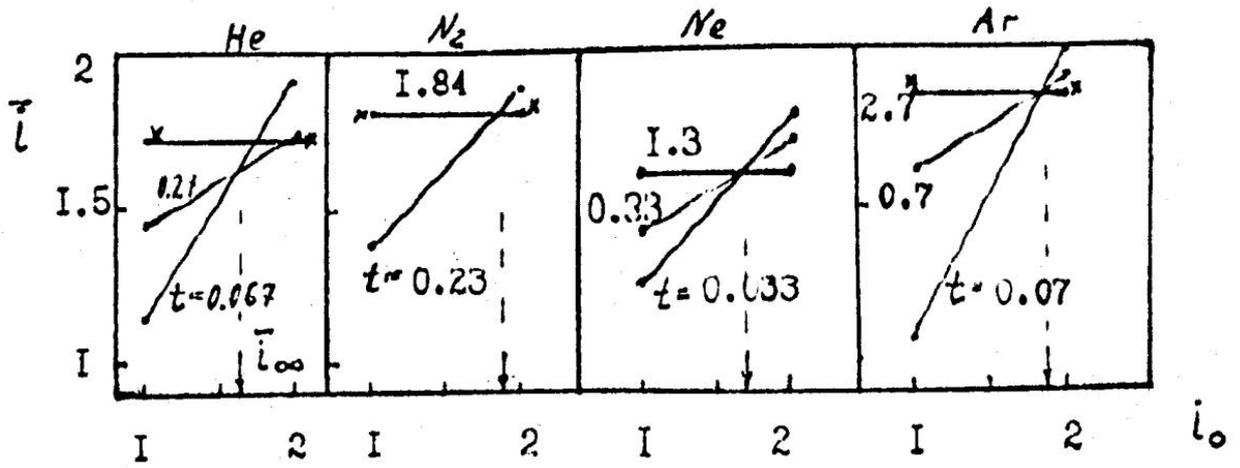


Рис.2.3.1 Средний заряд ионов гелия при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины мишени.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

## 2.3.2 ИОНЫ УГЛЕРОДА

### 2.3.2.1 ИОНЫ УГЛЕРОДА В АЗОТЕ, $V=8 \cdot 10^8$ СМ/С, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (i_0=2)$ | $I_{cp} (i_0=3)$ | $I_{cp} (i_0=4)$ | $I_{cp} (i_0=5)$ | $I_{cp} (i_0=6)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                |
| 0,2                                      | 2,3              | 3,1              | 3,85             | 4,65             | 5,55             |
| 1,0                                      | 3,05             | 3,35             | 3,65             | 4,15             | 4,65             |
| 2,0                                      | 3,2              | 3,35             | 3,55             | 3,8              | 4,07             |
| 7,9                                      | 3,4              | 3,4              | 3,4              | 3,4              | 3,4              |

## 2.3.3 ИОНЫ АЗОТА

### 2.3.3.1 ИОНЫ АЗОТА В АЗОТЕ, $V=8 \cdot 10^8$ СМ/С, ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ $i_0=2$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $F_5$ | $F_6$  |
|--|-------|-------|-------|-------|--------|
| 0  | 1.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  |        |
| 0,05                                     | 0,85  | 0,09  | 0,02  | 0,001 |        |
| 0,15                                     |       | 0,19  | 0,06  | 0,004 |        |
| 0,8                                      | 0,25  | 0,42  | 0,25  | 0,054 | 0,008  |
| 2,9                                      | 0,07  | 0,37  | 0,39  | 0,14  | 0,0025 |
| 4,3                                      | 0,05  | 0,33  | 0,45  | 0,16  | 0,002  |
| 6,45                                     | 0,04  | 0,32  | 0,45  | 0,17  | 0,0025 |
| 10,1                                     | 0,035 | 0,32  | 0,45  | 0,18  | 0,003  |

**I<sub>0</sub>=4**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0,00           | 0,00           | 1,00           | 0,00           | 0,00           |
| 0,17  | 0,008          | 0,14           | 0,73           | 0,08           | 0,0007         |
| 0,8   | 0,02           | 0,28           | 0,52           | 0,14           | 0,001          |
| 2,3   | 0,05           | 0,32           | 0,46           | 0,17           |                |
| 4,3   | 0,06           | 0,32           | 0,46           | 0,17           |                |

**I<sub>0</sub>=5**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 1,00           |                |
| 0,2   | 0,003          | 0,04           |                |                |                |
| 0,43  |                |                | 0,32           | 0,50           |                |
| 1,5   | 0,025          | 0,22           | 0,45           | 0,29           |                |
| 3,44  | 0,03           | 0,32           | 0,46           | 0,17           | 0,007          |
| 6,45  | 0,04           | 0,32           | 0,46           | 0,17           | 0,002          |

**I<sub>0</sub>=7**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 1,00           |
| 0,2   | 0,001          | 0,01           | 0,03           | 0,10           | 0,27           | 0,59           |
| 0,43  | 0,006          | 0,02           | 0,08           | 0,22           | 0,32           | 0,30           |
| 0,95  | 0,008          | 0,05           | 0,20           | 0,40           | 0,27           | 0,07           |
| 2,7   | 0,02           | 0,30           | 0,45           | 0,20           | 0,008          |                |
| 4,3   | 0,03           | 0,32           | 0,45           | 0,18           | 0,002          |                |

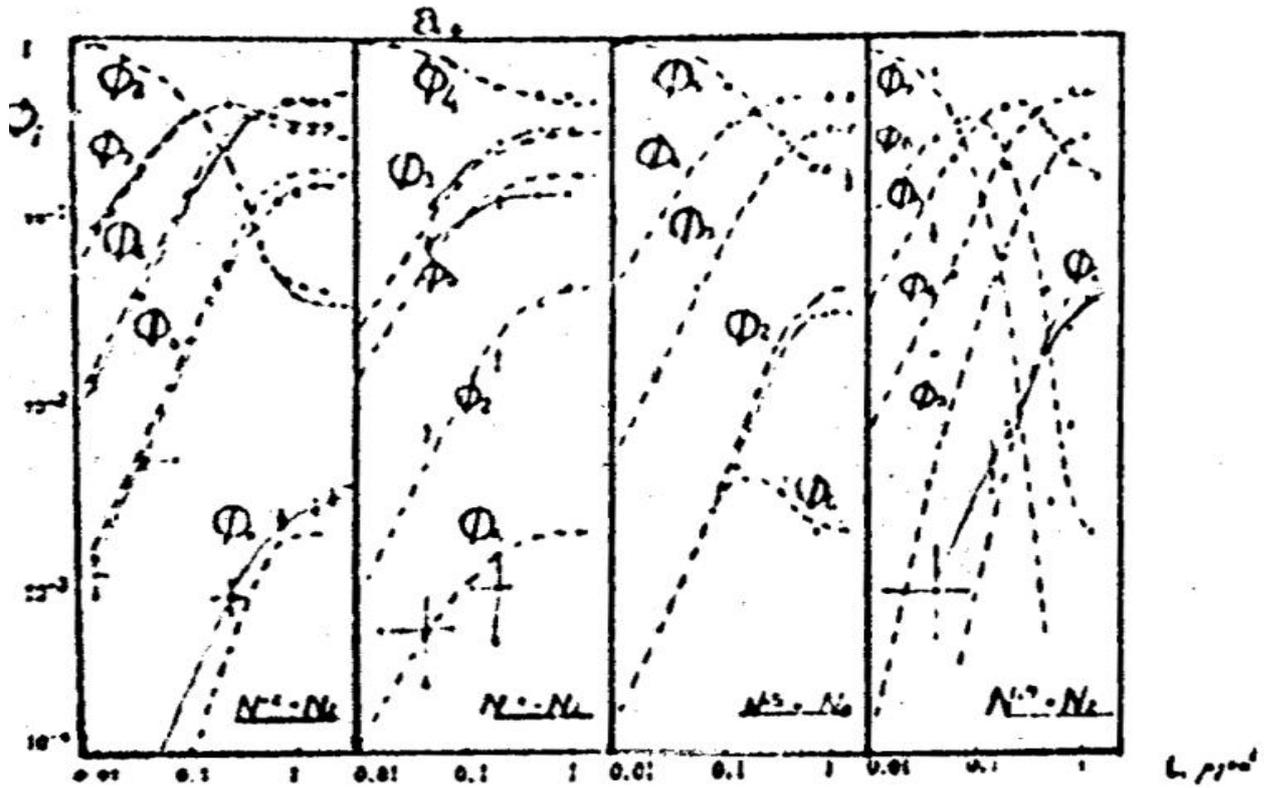


Рис. 2.3.2 Зарядовые фракции азота при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины азотной мишени.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

### 2.3.3.2 Ионы азота в азоте, $V=4 \cdot 10^8$ см/с, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (i_0=1)$ | $I_{cp} (i_0=2)$ | $I_{cp} (i_0=3)$ | $I_{cp} (i_0=4)$ | $I_{cp} (i_0=5)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 1                | 2                | 3                | 4                | 5                |
| 0,03                                     | 1,01             | 1,99             | 2,80             |                  | 4,67             |
| 0,2                                      | 1,3              | 1,93             | 2,65             | 2,8              |                  |
| 0,4                                      | 1,55             | 1,85             | 2,1              | 2,35             |                  |
| 0,66                                     | 1,7              | 1,9              |                  | 2,27             |                  |
| 0,86                                     | 1,8              | 1,9              | 2,05             | 2,2              |                  |
| 2,0                                      | 1,9              | 1,925            | 1,9              | 1,925            | 1,9              |

### 2.3.3.3 Ионы азота в азоте, $V=6 \cdot 10^8$ см/с, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=2)$ | $I_{cp} (I_0=3)$ | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                |
| 0,2                                      |                  |                  | 3,5              | 4,65             | 4,8              |
| 0,4                                      | 2,3              |                  | 3,3              | 3,825            | 4,25             |
| 0,77                                     | 2,65             |                  | 3,05             | 3,25             | 3,45             |
| 1,4                                      | 2,7              | 2,8              | 2,95             | 3,0              | 3,1              |
| 3,9                                      | 2,925            | 2,925            | 2,925            | 3,925            | 2,63             |

### 2.3.3.4 Ионы азота в азоте, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=2)$ | $I_{cp} (I_0=3)$ | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ | $I_{cp} (I_0=7)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                |
| 0,09                                     |                  | 3,1              | 3,95             | 4,8              |                  |                  |
| 0,22                                     | 2,4              | 3,15             | 3,9              | 4,7              | 5,5              | 6,5              |
| 1,0                                      | 2,8              | 3,35             | 3,875            | 4,275            | 4,7              | 5,2              |
| 2,0                                      | 3,175            | 3,5              | 3,8              | 4,0              | 4,225            | 4,6              |
| 4,0                                      | 3,525            | 3,675            | 3,8              | 3,8              | 3,9              | 4,05             |

### 2.3.3.4 Ионы азота в азоте, $V=12 \cdot 10^8$ см/с, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=3)$ | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ | $I_{cp} (I_0=7)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                |
| 0,33                                     | 3,5              | 4,2              |                  | 5,9              | 6,8              |
| 1,4                                      | 3,9              | 4,4              | 4,95             | 5,7              | 6,4              |
| 2,15                                     | 4,15             | 4,5              | 4,95             | 5,6              | 6,6              |
| 2,7                                      | 4,2              | 4,6              | 4,85             | 5,5              | 6,1              |
| 4,9                                      |                  | 4,575            | 4,85             | 5,2              | 5,75             |
| 7,7                                      | 4,65             | 4,8              | 4,85             | 4,95             | 5,1              |
| 8,7                                      | 4,9              | 4,87             |                  | 4,87             |                  |

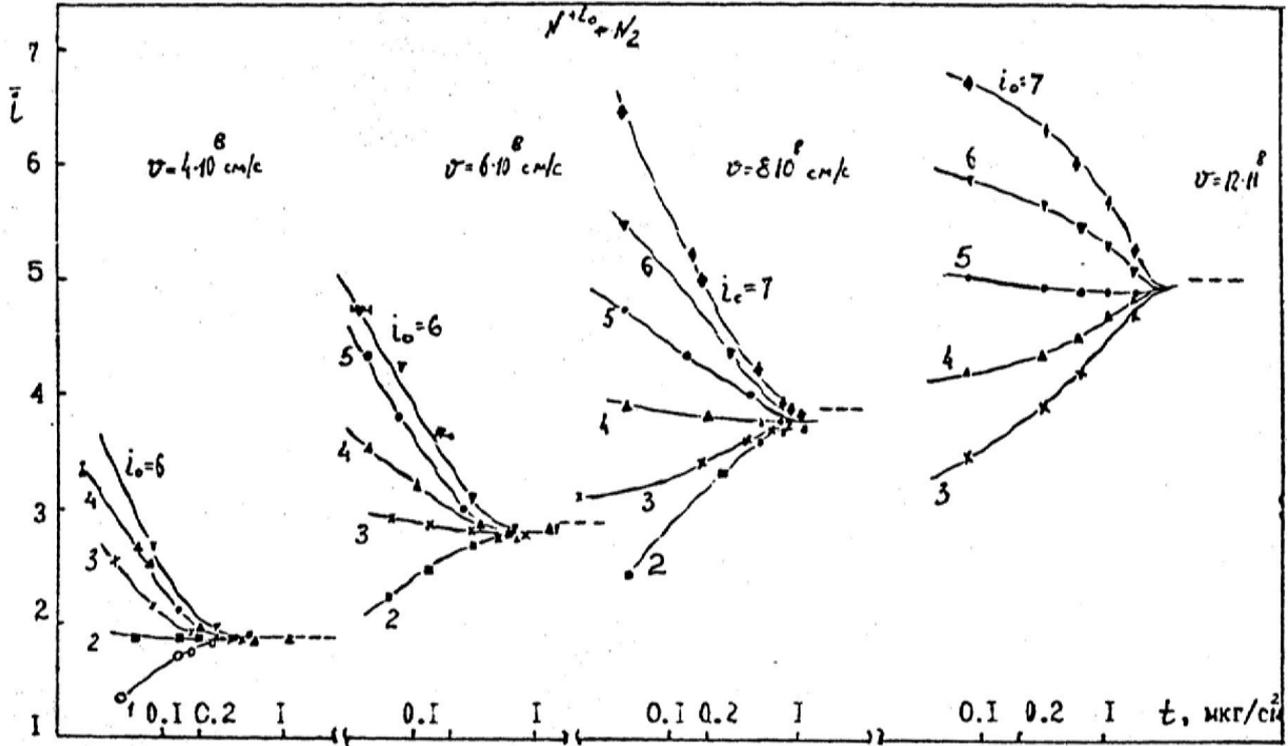


Рис. 2.3.3 Средний заряд ионов азота в зависимости от толщины азотной мишени.

### 2.3.4 ИОНЫ КИСЛОРОДА

#### 2.3.4.1 Ионы кислорода в азоте, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, зарядовые фракции

$I_0=4$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0,00           | 0,00           | 1,00           | 0,00           | 0,00           |
| 0,86                                     | 0,01           | 0,17           | 0,54           | 0,26           | 0,02           |
| 2,0                                      | 0,02           | 0,19           | 0,44           | 0,30           | 0,04           |
| 2,9                                      | 0,02           | 0,18           | 0,45           | 0,30           | 0,05           |
| 4,7                                      | 0,02           | 0,18           | 0,45           | 0,30           | 0,05           |

$I_0=7$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  |                | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           |
| 1,5                                      |                | 0,06           | 0,30           | 0,40           | 0,24           |
| 2,75                                     | 0,008          | 0,14           | 0,43           | 0,34           | 0,09           |
| 4,3                                      | 0,01           | 0,17           | 0,45           | 0,30           | 0,07           |
| 7,7                                      | 0,01           | 0,17           | 0,46           | 0,30           | 0,06           |
| 8,6                                      | 0,01           | 0,17           | 0,46           | 0,30           | 0,06           |

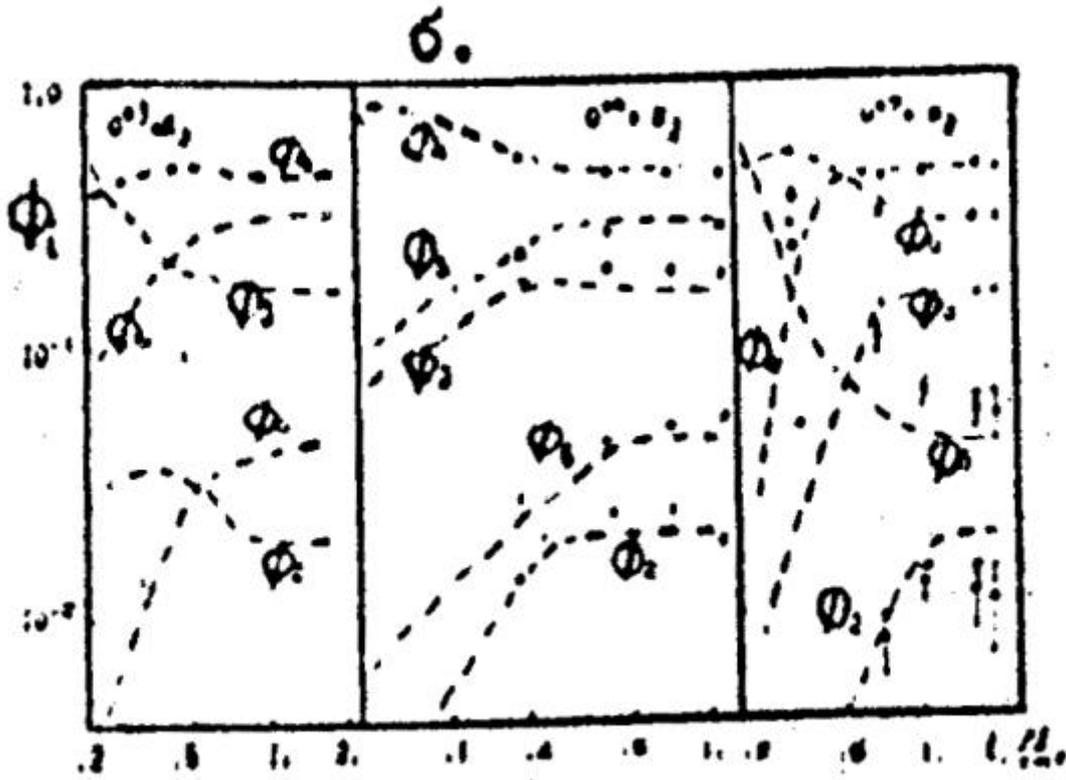


Рис. 2.3.4 Зарядовые фракции кислорода при различных начальных зарядах  $i_0$  зависимости от толщины азотной мишени.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

#### 2.3.4.2 Ионы КИСЛОРОДА В АЗОТЕ, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (i_0=2)$ | $I_{cp} (i_0=3)$ | $I_{cp} (i_0=4)$ | $I_{cp} (i_0=5)$ | $I_{cp} (i_0=6)$ | $I_{cp} (i_0=7)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                |
| 1,3                                      | 3,8              | 3,95             | 4,15             | 4,4              | 4,65             | 5,1              |
| 2,6                                      | 4,2              | 4,2              | 4,2              | 4,23             | 4,3              | 4,4              |
| 8,6                                      | 4,2              | 4,2              | 4,2              | 4,2              | 4,2              | 4,25             |

#### 2.3.5 ИОНЫ НЕОНА

##### 2.3.5.1 Ионы НЕОНА В АЗОТЕ, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (i_0=4)$ | $I_{cp} (i_0=5)$ | $I_{cp} (i_0=6)$ | $I_{cp} (i_0=7)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 4                | 5                | 6                | 7                |
| 1,0                                      | 4,4              | 4,85             | 5,3              | 5,7              |
| 2,0                                      | 4,6              | 4,8              | 5,0              | 5,2              |
| 7,9                                      | 4,75             | 4,75             | 4,75             | 4,75             |

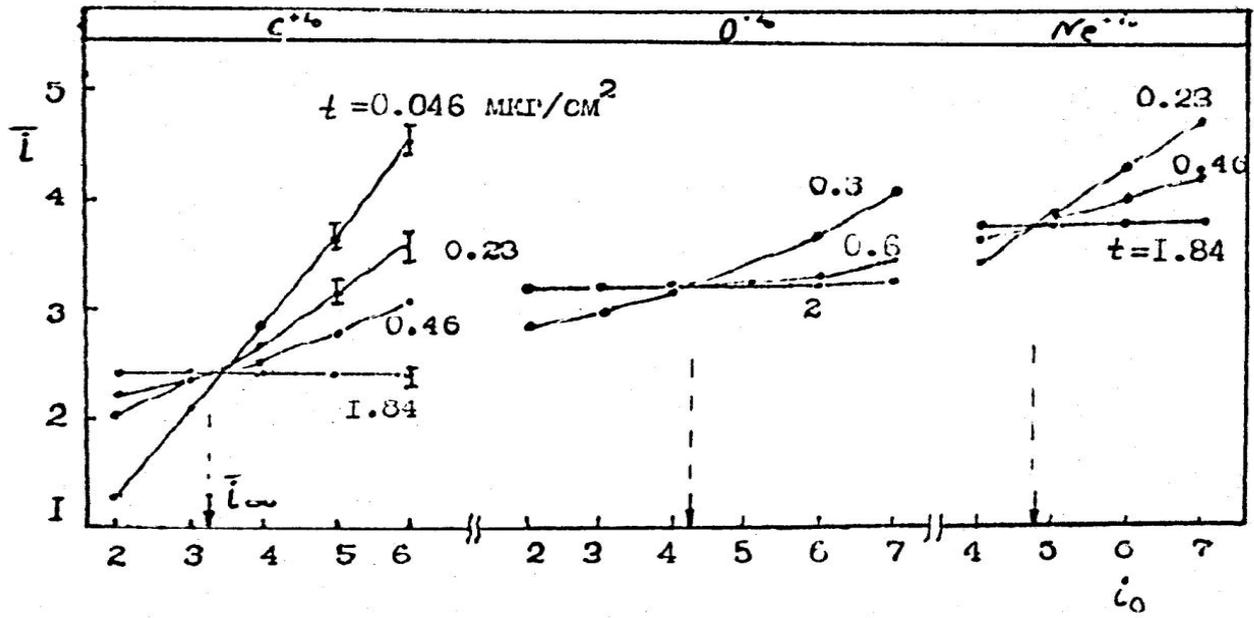


Рис. 2.3.5 Средний заряд ионов при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины азотной мишени.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

## 2.4 НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ И СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ ИОНОВ В ТВЕРДЫХ СРЕДАХ

### 2.4.1 ИОНЫ ГЕЛИЯ

#### 2.4.1.1 Ионы гелия в углероде, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=1)$ | $I_{cp} (I_0=2)$ |
|--|------------------|------------------|
| 0  | 1                | 2                |
| 6,5                                      | 1,725            | 1,848            |
| 11,3                                     | 1,825            | 1,838            |

### 2.4.2 ИОНЫ БЕРИЛЛИЯ

#### 2.4.2.1 Ионы бериллия в целлулоиде, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, зарядовые фракции $I_0=1$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $F_1$   | $F_2$   | $F_3$   | $F_4$   |
|--|---------|---------|---------|---------|
| 0  | 1       | 0       | 0       | 0       |
| 3,2                                      | 0,01667 | 0,31787 | 0,51708 | 0,14838 |
| 6,4                                      | 0,01077 | 0,22298 | 0,55872 | 0,20789 |
| 9,6                                      | 0,01116 | 0,22368 | 0,55187 | 0,2132  |
| 12,8                                     | 0,01003 | 0,22173 | 0,55472 | 0,2131  |
| 16,0                                     | 0,0096  | 0,20652 | 0,55629 | 0,2275  |
| 19,2                                     | 0,0107  | 0,2074  | 0,55322 | 0,22854 |

#### $I_0=2$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $F_1$   | $F_2$   | $F_3$   | $F_4$   |
|--|---------|---------|---------|---------|
| 0  | 0       | 1       | 0       | 0       |
| 3,2                                      | 0,01265 | 0,27003 | 0,54221 | 0,17503 |
| 6,4                                      | 0,01138 | 0,22686 | 0,54928 | 0,21238 |
| 9,6                                      | 0,01176 | 0,22659 | 0,55935 | 0,20213 |
| 12,8                                     | 0,01096 | 0,22846 | 0,55352 | 0,20697 |
| 16,0                                     | 0,01028 | 0,20925 | 0,56587 | 0,21456 |
| 19,2                                     | 0,00963 | 0,20963 | 0,55057 | 0,23006 |

$I_0=3$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 0              | 1              | 0              |
| 3,2                                      | 0.01135        | 0.23424        | 0.56251        | 0.19182        |
| 6,4                                      | 0.01023        | 0.2314         | 0.55116        | 0.20712        |
| 9,6                                      | 0.01188        | 0.23032        | 0.55782        | 0.19988        |
| 12,8                                     | 0.011312       | 0.22932        | 0.55258        | 0.20484        |
| 16,0                                     | 0.0111         | 0.2207         | 0.54437        | 0.22373        |
| 19,2                                     | 0.01085        | 0.20851        | 0.54761        | 0.23296        |

 $I_0=3$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 0              | 0              | 1              |
| 3,2                                      | 0.00953        | 0.18084        | 0.50856        | 0.30061        |
| 6,4                                      | 0.01314        | 0.22493        | 0.52908        | 0.22241        |
| 9,6                                      | 0.01279        | 0.23323        | 0.54743        | 0.20654        |
| 12,8                                     | 0.01284        | 0.22657        | 0.5565         | 0.20391        |
| 16,0                                     | 0.01049        | 0.22121        | 0.53699        | 0.23118        |
| 19,2                                     | 0.01062        | 0.18691        | 0.56217        | 0.23957        |

#### 2.4.2.2 Ионы бериллия в целлулоиде, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | I <sub>cp</sub> (I <sub>0</sub> =1 ) | I <sub>cp</sub> (I <sub>0</sub> =2 ) | I <sub>cp</sub> (I <sub>0</sub> =3 ) | I <sub>cp</sub> (I <sub>0</sub> =4 ) |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 0  | 1                                    | 2                                    | 3                                    | 4                                    |
| 3,2                                      | 2,7972                               | 2,8795                               | 2,9346                               | 3,0993                               |
| 6,4                                      | 2,963                                | 2,9625                               | 2,955                                | 2,9699                               |
| 9,6                                      | 2,969                                | 2,9515                               | 2,9455                               | 2,9474                               |
| 12,8                                     | 2,97                                 | 2,9563                               | 2,9489                               | 2,9511                               |
| 16,0                                     | 3,0015                               | 2,9846                               | 2,9805                               | 2,9886                               |
| 19,2                                     | 2,993                                | 3,0008                               | 3,0025                               | 3,0292                               |

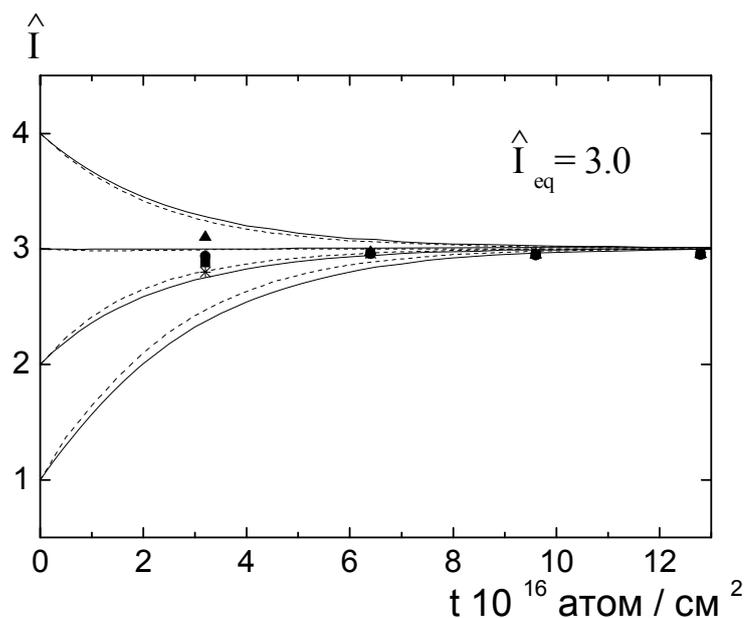


Рис. 2.4.1 Средний заряд ионов при различных начальных зарядах  $\hat{I}_0$  в зависимости от толщины мишени.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

## 2.4.3 ИОНЫ БОРА

### 2.4.3.1 Ионы бора в целлулоиде, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, зарядовые фракции $I_0=2$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         |
| 3,2                                      | 0.0043         | 0.1372         | 0.5859         | 0.2538         | 0.0187         |
| 6,4                                      | 0.0031         | 0.1126         | 0.5339         | 0.3175         | 0.0329         |
| 9,6                                      | 0.0038         | 0.1092         | 0.5171         | 0.3353         | 0.0346         |
| 12,8                                     | 0.0034         | 0.1086         | 0.5096         | 0.3352         | 0.0432         |
| 16,0                                     | 0.0032         | 0.1023         | 0.5094         | 0.3494         | 0.0357         |
| 22,4                                     | 0.0040         | 0.0947         | 0.5106         | 0.3501         | 0.0406         |
| 38,4                                     | 0.0036         | 0.1044         | 0.5160         | 0.3409         | 0.0351         |

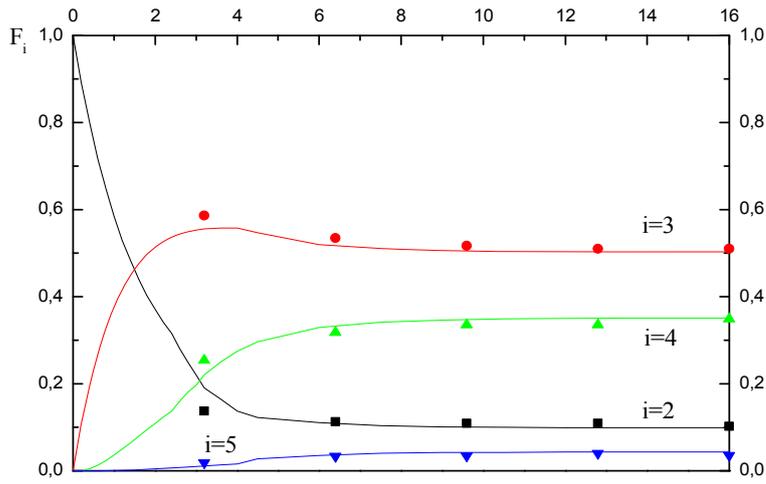


Рис. 2.4.2(а)

$I_0=3$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $F_1$  | $F_2$  | $F_3$  | $F_4$  | $F_5$  |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0  | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 3,2                                      | 0.0035 | 0.1177 | 0.5551 | 0.2994 | 0.0243 |
| 6,4                                      | 0.0036 | 0.1056 | 0.5118 | 0.3241 | 0.0369 |
| 9,6                                      | 0.0036 | 0.1031 | 0.5200 | 0.3371 | 0.0362 |
| 12,8                                     | 0.0037 | 0.1028 | 0.5098 | 0.3424 | 0.0143 |
| 16,0                                     | 0.0037 | 0.1003 | 0.5012 | 0.3545 | 0.0402 |
| 22,4                                     | 0.0038 | 0.1040 | 0.4961 | 0.3531 | 0.0431 |
| 38,4                                     | 0.0042 | 0.1034 | 0.5069 | 0.3462 | 0.0393 |

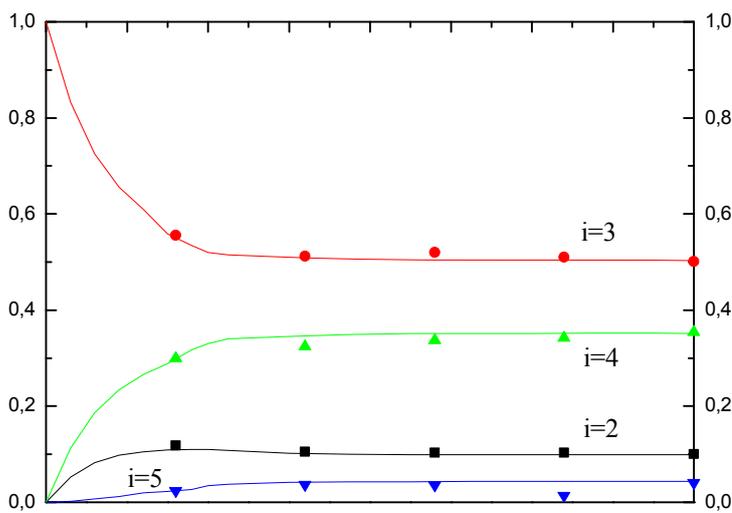


Рис. 2.4.2(б)

$I_0=4$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         |
| 3,2                                      | 0.0013         | 0.0878         | 0.4872         | 0.3896         | 0.0341         |
| 6,4                                      | 0.0035         | 0.1177         | 0.5551         | 0.2994         | 0.0243         |
| 9,6                                      | 0.0036         | 0.1031         | 0.5200         | 0.3371         | 0.0362         |
| 12,8                                     | 0.0037         | 0.1040         | 0.4997         | 0.3496         | 0.0431         |
| 16,0                                     | 0.0041         | 0.1022         | 0.5058         | 0.3491         | 0.0388         |
| 22,4                                     | 0.0039         | 0.0997         | 0.5013         | 0.3542         | 0.0408         |
| 38,4                                     | 0.0033         | 0.0840         | 0.4829         | 0.3737         | 0.0560         |

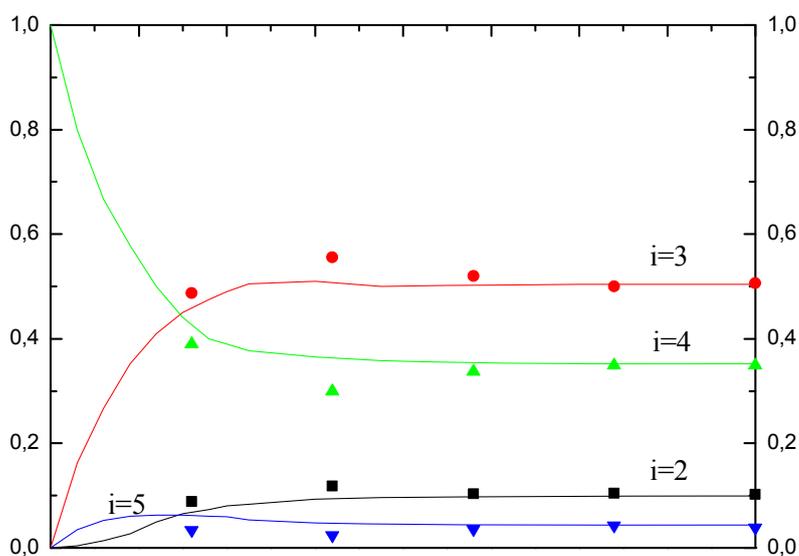


Рис. 2.4.2(в)

 **$I_0=5$** 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         |
| 3,2                                      | 0.0041         | 0.1027         | 0.5059         | 0.3421         | 0.0452         |
| 6,4                                      | 0.0037         | 0.0912         | 0.4593         | 0.3822         | 0.0635         |
| 9,6                                      | 0.0033         | 0.0840         | 0.4829         | 0.3737         | 0.0560         |
| 12,8                                     | 0.0040         | 0.0979         | 0.5021         | 0.3539         | 0.0419         |
| 16,0                                     | 0.0041         | 0.1027         | 0.5059         | 0.3421         | 0.0452         |
| 22,4                                     | 0.0025         | 0.1062         | 0.5080         | 0.3429         | 0.0403         |
| 38,4                                     | 0.0042         | 0.1040         | 0.5052         | 0.3436         | 0.0426         |

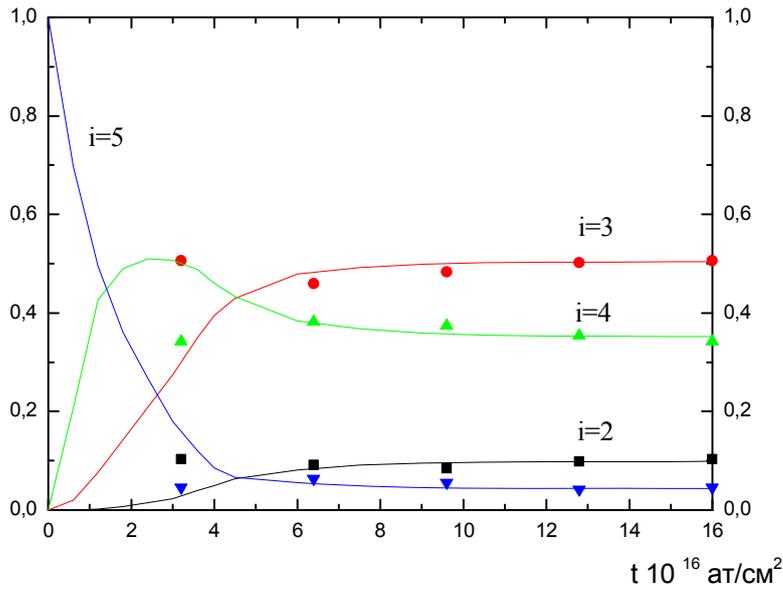


Рис. 2.4.2(г)

Рис. 2.4.2 Зарядовые фракции ионов бора, имеющих начальную скорость  $V=8 \cdot 10^8$  см/с и различные начальные заряды  $i_0$ , в зависимости от толщины перезарядной мишени в целлюлоидной пленке. Значки – экспериментальные данные, сплошные кривые – результаты расчетов по (1) ( $i_0$  равно  $i$  при  $t=0$ ).

### 2.4.3.2 Ионы БОРА В ЦЕЛЛУЛОИДЕ, $V=12 \cdot 10^8$ см/с, ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ

$i_0=2$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         |
| 3,2                                      | 0.00039        | 0.04168        | 0.41971        | 0.44826        | 0.08996        |
| 6,4                                      | 0.00010        | 0.01176        | 0.25399        | 0.54796        | 0.18619        |
| 9,6                                      | 0.00027        | 0.01013        | 0.21962        | 0.54466        | 0.22532        |
| 12,8                                     | 0.00013        | 0.00929        | 0.20870        | 0.53919        | 0.24269        |
| 19.6                                     | 0.00006        | 0.01122        | 0.21210        | 0.53414        | 0.24248        |
| 32.0                                     | 0.00061        | 0.01160        | 0.21191        | 0.52794        | 0.24794        |

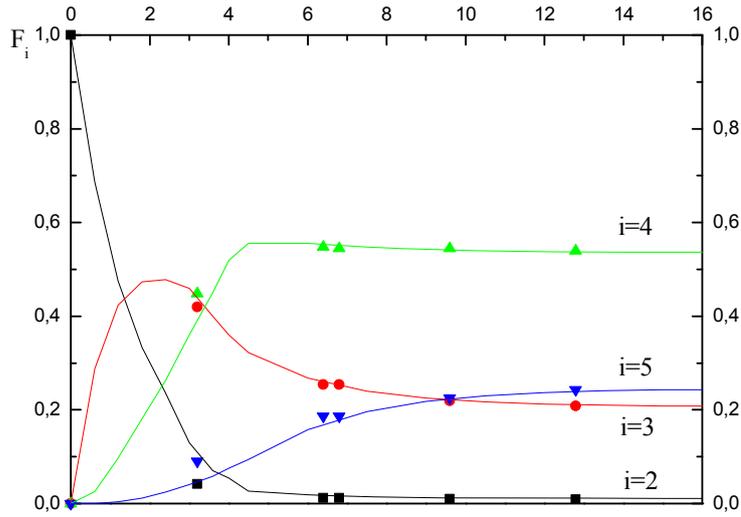


Рис. 2.4.3 (а)

$I_0=3$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $F_1$   | $F_2$   | $F_3$   | $F_4$   | $F_5$   |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0  | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| 3,2                                      | 0.00011 | 0.01382 | 0.33792 | 0.51868 | 0.12947 |
| 6,4                                      | 0.00015 | 0.01819 | 0.32742 | 0.48768 | 0.16656 |
| 6.8                                      | 0.00020 | 0.01338 | 0.28232 | 0.53509 | 0.16901 |
| 9,6                                      | 0.00008 | 0.01175 | 0.21219 | 0.54974 | 0.22624 |
| 12,8                                     | 0.00009 | 0.00899 | 0.20465 | 0.54781 | 0.23846 |
| 19.6                                     | 0.00017 | 0.01149 | 0.20124 | 0.52718 | 0.25992 |
| 32.0                                     | 0.00013 | 0.01081 | 0.20537 | 0.53823 | 0.24546 |

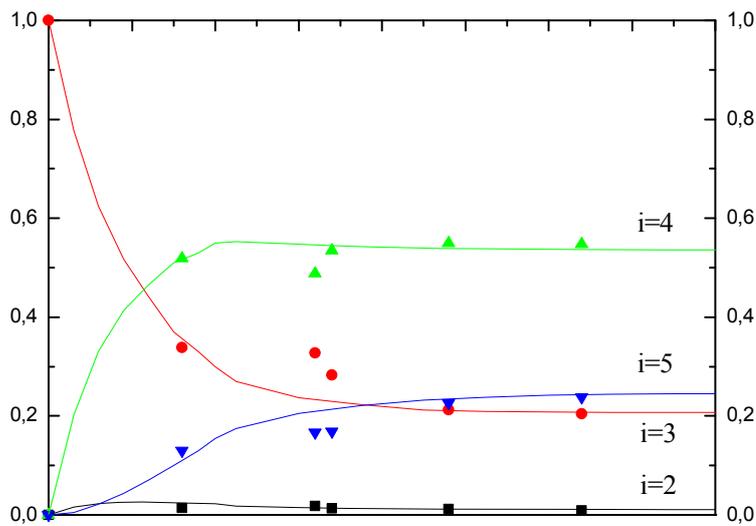


Рис. 2.4.3 (б)

$I_0=4$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         |
| 3,2                                      | 0.00015        | 0.01026        | 0.19670        | 0.61731        | 0.17559        |
| 6,4                                      | 0.00986        | 0.00986        | 0.20216        | 0.57412        | 0.21382        |
| 6.8                                      | 0.00018        | 0.01163        | 0.19864        | 0.58019        | 0.20936        |
| 9,6                                      | 0.00018        | 0.00964        | 0.20142        | 0.54693        | 0.24183        |
| 12,8                                     | 0.00009        | 0.00994        | 0.20367        | 0.54121        | 0.24509        |
| 19.6                                     | 0.00015        | 0.01137        | 0.20145        | 0.52356        | 0.26347        |
| 32.0                                     | 0.00019        | 0.01104        | 0.20748        | 0.53780        | 0.24349        |

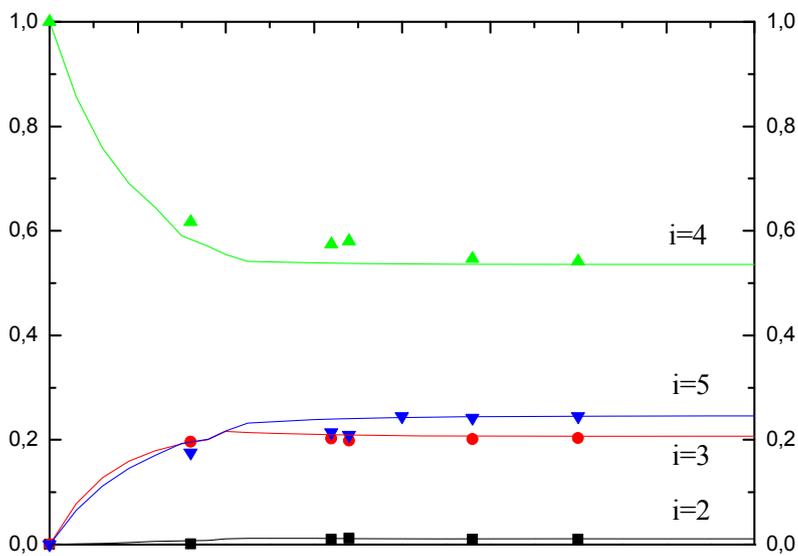


Рис. 2.4.3 (в)

 $I_0=5$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         |
| 3,2                                      | 0.00018        | 0.00836        | 0.14747        | 0.45190        | 0.39209        |
| 6,4                                      | 0.00022        | 0.00998        | 0.18208        | 0.50732        | 0.300040       |
| 6.8                                      | 0.00021        | 0.00969        | 0.16733        | 0.47842        | 0.344435       |
| 9,6                                      | 0.00027        | 0.00988        | 0.19315        | 0.52617        | 0.27053        |
| 12,8                                     | 0.00006        | 0.00987        | 0.20486        | 0.53537        | 0.24984        |
| 19.6                                     | 0.00015        | 0.01123        | 0.19699        | 0.52854        | 0.26309        |
| 32.0                                     | 0.00019        | 0.01130        | 0.20288        | 0.53890        | 0.24673        |

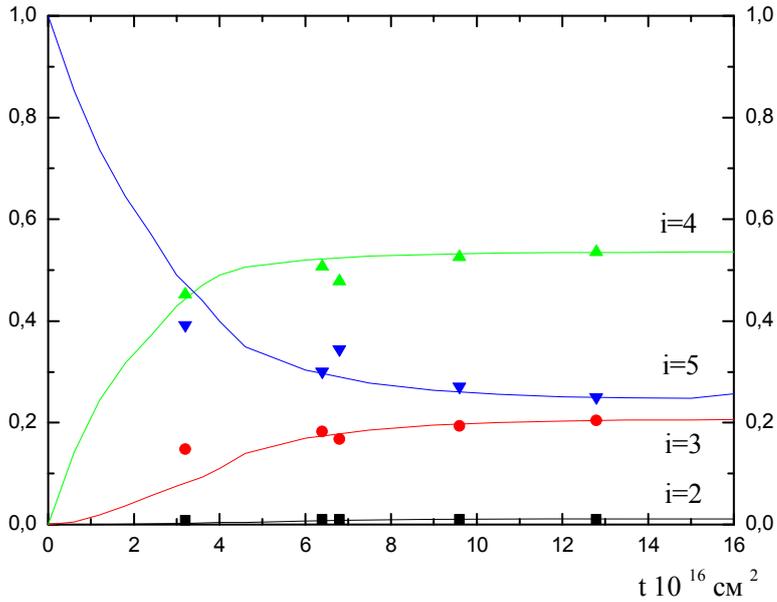


Рис. 2.4.3 (г)

Рис. 2.4.2 Зарядовые фракции ионов бора, имеющих начальную скорость  $V=12 \cdot 10^8$  см/с и различные начальные заряды  $i_0$ , в зависимости от толщины перезарядной мишени в целлюлоидной пленке. Значки – экспериментальные данные, сплошные кривые – результаты расчетов по (1) ( $i_0$  равно  $i$  при  $t=0$ ).

### 2.4.3.3 Ионы БОРА В ЦЕЛЛУЛОИДЕ, $V=8 \cdot 10^8$ СМ/С, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (i_0=2)$ | $I_{cp} (i_0=3)$ | $I_{cp} (i_0=4)$ | $I_{cp} (i_0=5)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 2                | 3                | 4                | 5                |
| 3,2                                      | 3,1451           | 3,2233           | 3,3674           | 3,3216           |
| 6,4                                      | 3,2645           | 3,2311           | 3,2233           | 3,4103           |
| 9,6                                      | 3,2877           | 3,2992           | 3,2992           | 3,3948           |
| 12,8                                     | 3,3062           | 3,1798           | 3,3247           | 3,3312           |
| 16,0                                     | 3,3121           | 3,3269           | 3,3163           | 3,3216           |
| 22,4                                     | 3,3286           | 3,3280           | 3,3280           | 3,3120           |
| 38,4                                     | 3,2995           | 3,3130           | 3,3948           | 3,3152           |

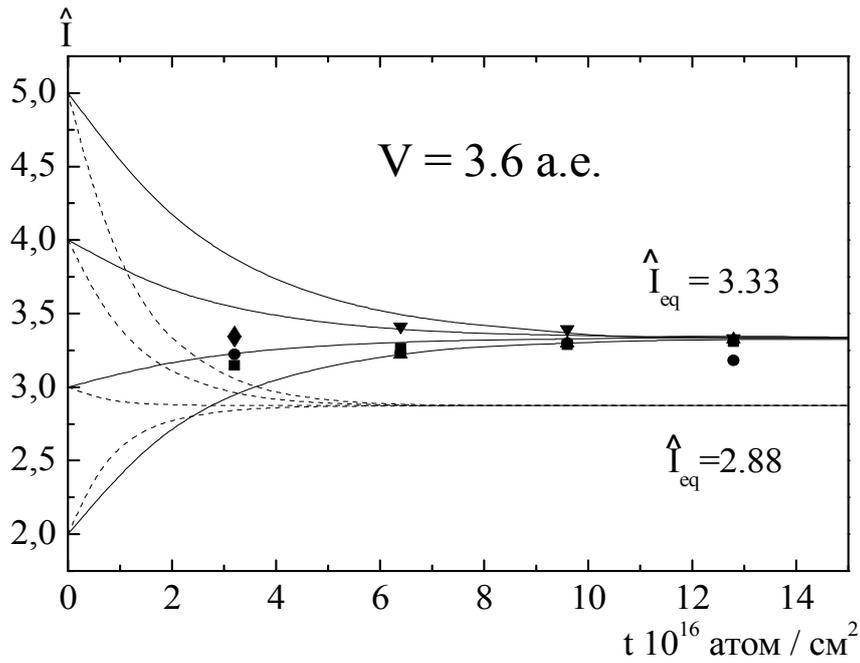


Рис. 2.4.3 Средний заряд ионов при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины мишени в целлюлоидной пленке (сплошные линии) и в азоте (пунктирные линии). Значки – экспериментальные данные.  $V = 8 \cdot 10^8 \text{ см/с}$ .

#### 2.4.3.4 Ионы БОРА В ЦЕЛЛУЛОИДЕ, $V=12 \cdot 10^8 \text{ см/с}$ СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16} \text{ АТ/СМ}^2$ | $I_{\text{cp}} (I_0=2)$ | $I_{\text{cp}} (I_0=3)$ | $I_{\text{cp}} (I_0=4)$ | $I_{\text{cp}} (I_0=5)$ |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                                     | 2                       | 3                       | 4                       | 5                       |
| 3,2                                   | 3,5857                  | 3,7636                  | 3,9579                  | 4,2274                  |
| 6,4                                   | 3,9084                  | 3,8018                  | 3,9918                  | 4,0977                  |
| 9,6                                   | 3,8952                  | 3,8593                  | 3,9869                  | 4,1570                  |
| 12,8                                  | 3,9846                  | 3,9903                  | 4,0206                  | 4,0568                  |
| 16,0                                  | 4,0150                  | 4,0156                  | 4,0213                  | 4,0281                  |
| 22,4                                  | 4,0078                  | 4,0352                  | 4,0388                  | 4,0432                  |
| 38,4                                  | 4,0110                  | 4,0184                  | 4,0134                  | 4,0207                  |

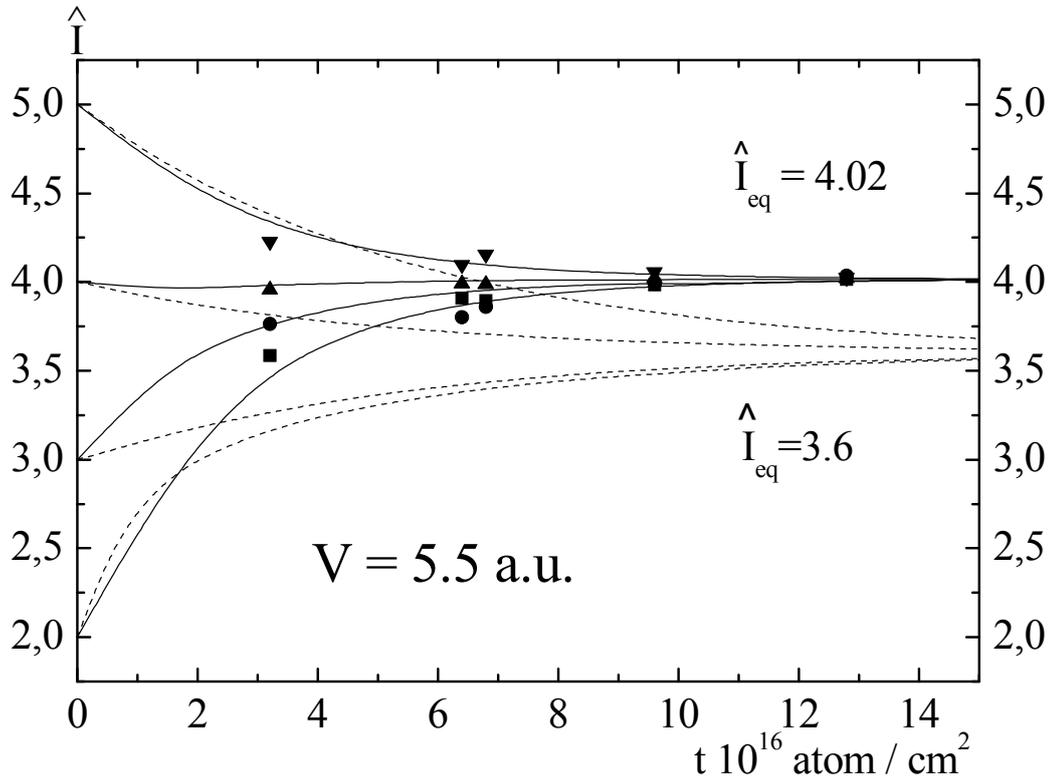


Рис.2.4.3. Зависимость среднего заряд ионов бора от начального зарядового состояния иона  $i_0$  и толщины мишени  $t$  в целлюлоиде: (а) – для начальной скорости ионов  $V = 3.6 \text{ а.е.}$  ( $V = 8 \cdot 10^8 \text{ см/с}$ ), (б) – для начальной скорости ионов  $V = 5.5 \text{ а.е.}$  ( $V = 12 \cdot 10^8 \text{ см/с}$ ). Значки – экспериментальные данные.

## 2.4.4 ИОНЫ УГЛЕРОДА

### 2.4.4.1 ИОНЫ УГЛЕРОДА В ЦЕЛЛУЛОИДЕ, $V=8 \cdot 10^8 \text{ см/с}$ , ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ

$i_0=2$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16} \text{ АТ/СМ}^2$ | $F_2$ | $F_3$ | $F_4$ | $F_5$ | $F_6$ |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0                                     | 1.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   | 0.0   |
| 5,6                                   | 0,03  | 0,33  | 0,57  | 0,07  | 0,002 |
| 11                                    | 0,02  | 0,28  | 0,57  | 0,095 | 0,005 |

**I<sub>0</sub>=3**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0.0            | 1.0            | 0.0            | 0.0            | 0.0            |
| 5,6   | 0,03           | 0,33           | 0,57           | 0,07           | 0,002          |
| 11  | 0,02           | 0,29           | 0,57           | 0,095          | 0,005          |

**I<sub>0</sub>=4**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0.0            | 0.0            | 1.0            | 0.0            | 0.0            |
| 5,6   | 0,03           | 0,33           | 0,57           | 0,086          | 0,002          |
| 11  |                | 0,28           | 0,57           | 0,095          | 0,005          |

**I<sub>0</sub>=5**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0.0            | 0.0            | 0.0            | 1.0            | 0.0            |
| 5,6   | 0,02           | 0,27           | 0,57           | 0,11           | 0,003          |
| 11  | 0,02           | 0,29           | 0,57           | 0,095          | 0,006          |

**I<sub>0</sub>=6**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 1.0            | 0.0            | 0.0            | 0.0            | 1.0            |
| 5,6   | 0,02           | 0,21           | 0,57           | 0,185          | 0,06           |
| 11  | 0,02           | 0,28           | 0,57           | 0,095          | 0,05           |

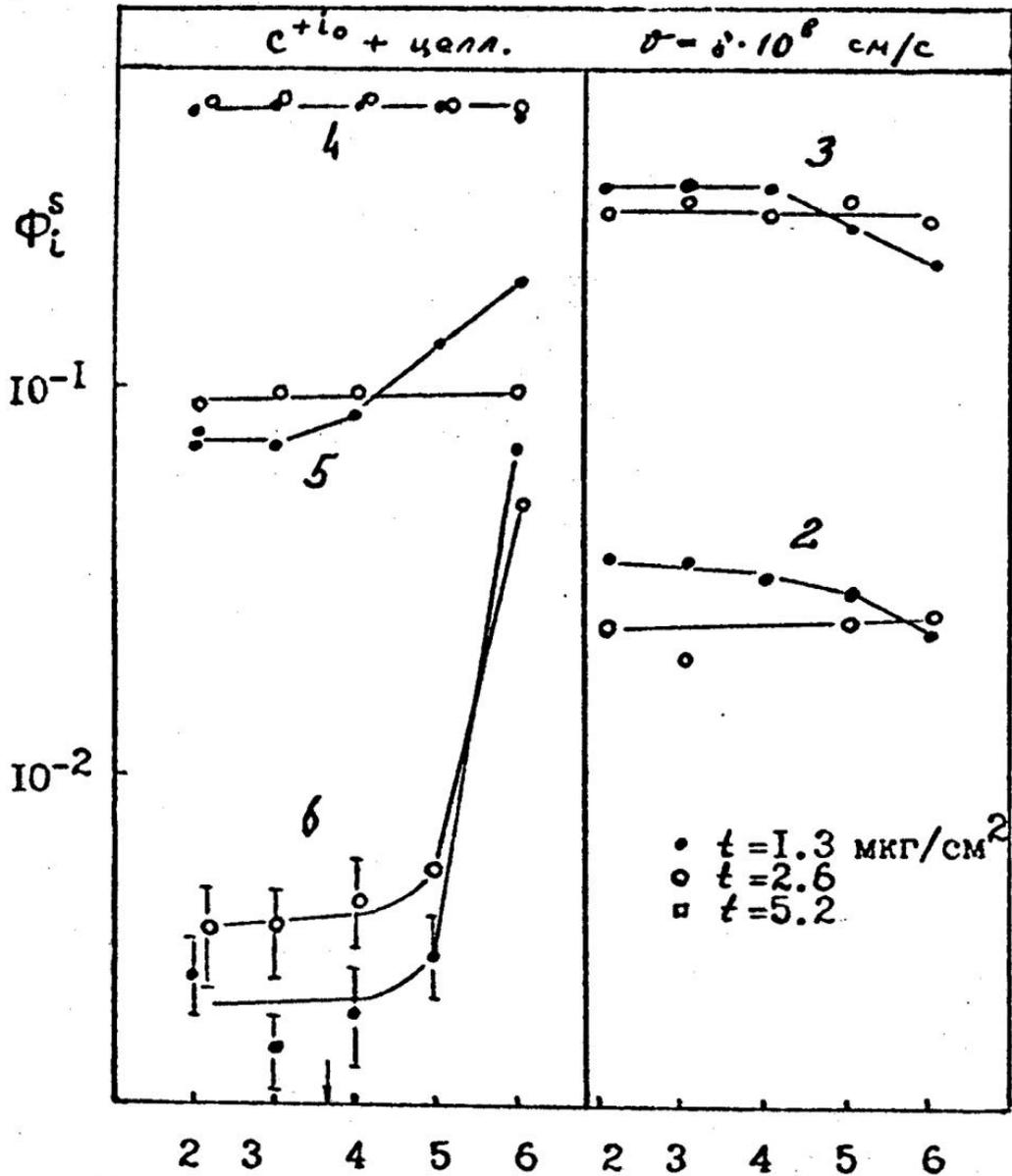


Рис. 2.4.4 Зарядовые фракции ионов бора, имеющих начальную скорость  $V=8 \cdot 10^8 \text{ см/с}$  и различные начальные заряды  $i_0$ , в зависимости от толщины перезарядной мишени в целлюлоидной пленке. Значки – экспериментальные данные.

#### 2.4.4.2 Ионы углерода в целлюлоиде, $V=8 \cdot 10^8 \text{ см/с}$ , средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16} \text{ АТ/см}^2$ | $I_{\text{cp}} (i_0=2)$ | $I_{\text{cp}} (i_0=3)$ | $I_{\text{cp}} (i_0=4)$ | $I_{\text{cp}} (i_0=5)$ | $I_{\text{cp}} (i_0=6)$ |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 0                                     | 2                       | 3                       | 4                       | 5                       | 6                       |
| 5,6                                   | 3,65                    | 3,6                     | 3,6                     | 3,82                    | 4,0                     |
| 11                                    |                         | 3,72                    |                         | 3,8                     | 3,84                    |
| 22                                    |                         | 3,72                    |                         | 3,7                     | 3,71                    |

## 2.4.5 ИОНЫ АЗОТА

### 2.4.5.1 ИОНЫ АЗОТА В ЦЕЛЛУЛОИДЕ, $V=4 \cdot 10^8$ СМ/С, ЗАРЯДОВЫЕ ФРАКЦИИ $I_0=1$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 1              | 0              | 0              | 0              |
| 10,4                                     | 0,18           | 0,44           | 0,33           | 0,05           |
| 20,8                                     | 0,19           | 0,44           | 0,32           | 0,04           |
| 31,2                                     | 0,15           | 0,43           | 0,35           | 0,06           |
| 41,6                                     | 0,18           | 0,43           | 0,33           | 0,05           |

### $I_0=2$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 1              | 0              | 0              |
| 10,4                                     | 0,08           | 0,43           | 0,35           | 0,04           |
| 20,8                                     | 0,18           | 0,44           | 0,34           | 0,04           |
| 31,2                                     | 0,15           | 0,44           | 0,35           | 0,06           |
| 41,6                                     | 0,17           | 0,43           | 0,33           | 0,06           |

### $I_0=3$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 0              | 3              | 0              |
| 10,4                                     | 0,18           | 0,44           | 0,34           | 0,04           |
| 20,8                                     | 0,18           | 0,44           | 0,34           | 0,04           |
| 31,2                                     | 0,15           | 0,44           | 0,35           | 0,06           |
| 41,6                                     | 0,18           | 0,44           | 0,31           | 0,05           |

### $I_0=4$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 0              | 0              | 4              |
| 10,4                                     | 0,16           | 0,45           | 0,34           | 0,05           |
| 20,8                                     | 0,15           | 0,44           | 0,34           | 0,06           |
| 31,2                                     | 0,16           | 0,44           | 0,34           | 0,05           |
| 41,6                                     | 0,17           | 0,44           | 0,34           | 0,05           |

**I<sub>0</sub>=5**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0              | 0              | 0              | 0              | 1,0            |
| 10,4  | 0,16           | 0,44           | 0,34           | 0,05           | 0,01           |
| 20,8  | 0,17           | 0,44           | 0,34           | 0,05           |                |
| 31,2  | 0,17           | 0,41           | 0,36           | 0,05           |                |
| 41,6  | 0,18           | 0,44           | 0,34           | 0,04           |                |

**I<sub>0</sub>=6**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 10,4  | 0,14           | 0,28           | 0,26           | 0,24           | 0,06           |
| 20,8  | 0,12           | 0,39           | 0,31           | 0,16           | 0,02           |
| 31,2  | 0,16           | 0,37           | 0,36           | 0,10           | 0,01           |
| 41,6  | 0,16           | 0,42           | 0,30           | 0,09           | 0,01           |

**2.4.5.2 Ионы азота в целлулоиде, V=6 10<sup>8</sup> см/с, зарядовые фракции****I<sub>0</sub>=2**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 1              | 0              | 0              | 0              |
| 8,8   | 0,10           | 0,51           | 0,37           | 0,02           |
| 13,2  | 0,10           | 0,54           | 0,34           | 0,02           |
| 17,6  | 0,09           | 0,52           | 0,36           | 0,02           |
| 26,4  | 0,09           | 0,56           | 0,32           | 0,03           |

**I<sub>0</sub>=3**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0              | 1              | 0              | 0              |
| 8,8   | 0,08           | 0,52           | 0,39           | 0,01           |
| 13,2  | 0,08           | 0,54           | 0,37           | 0,01           |
| 17,6  | 0,07           | 0,55           | 0,36           | 0,02           |
| 26,4  | 0,07           | 0,55           | 0,36           | 0,02           |

**I<sub>0</sub>=4**

|  | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
|  |                |                |                |                |

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 0              | 1              | 0              |
| 8,8                                      | 0,06           | 0,53           | 0,39           | 0,02           |
| 13,2                                     | 0,08           | 0,53           | 0,37           | 0,02           |
| 17,6                                     | 0,08           | 0,53           | 0,36           | 0,03           |
| 26,4                                     | 0,09           | 0,54           | 0,35           | 0,03           |

**I<sub>0</sub>=5**

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 0              | 0              | 1              |
| 8,8                                      | 0,05           | 0,54           | 0,39           | 0,02           |
| 13,2                                     | 0,08           | 0,54           | 0,36           | 0,02           |
| 17,6                                     | 0,07           | 0,55           | 0,37           | 0,02           |
| 26,4                                     | 0,06           | 0,56           | 0,36           | 0,02           |

**I<sub>0</sub>=6**

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 8,8                                      | 0,04           | 0,41           | 0,38           | 0,17           |
| 13,2                                     | 0,06           | 0,43           | 0,37           | 0,13           |
| 17,6                                     | 0,05           | 0,50           | 0,38           | 0,07           |
| 26,4                                     | 0,06           | 0,54           | 0,37           | 0,04           |

**2.4.5.3 Ионы азота в целлюлоиде, V=8 10<sup>8</sup> см/с, зарядовые фракции****I<sub>0</sub>=3**

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         |
| 4,0                                      | 0,00755        | 0,11127        | 0,52189        | 0,34030        | 0,01836        | 0,00028        |
| 7,6                                      | 0,00948        | 0,11608        | 0,51248        | 0,34049        | 0,02098        | 0,00019        |
| 9,2                                      | 0,00843        | 0,13470        | 0,52656        | 0,31065        | 0,01912        | 0,00017        |
| 11,0                                     | 0,00787        | 0,11880        | 0,49836        | 0,34976        | 0,02464        | 0,00024        |
| 14,0                                     | 0,01806        | 0,11206        | 0,48023        | 0,36734        | 0,02175        | 0,00056        |
| 20,0                                     | 0,00812        | 0,12689        | 0,50774        | 0,33159        | 0,02503        | 0,00021        |

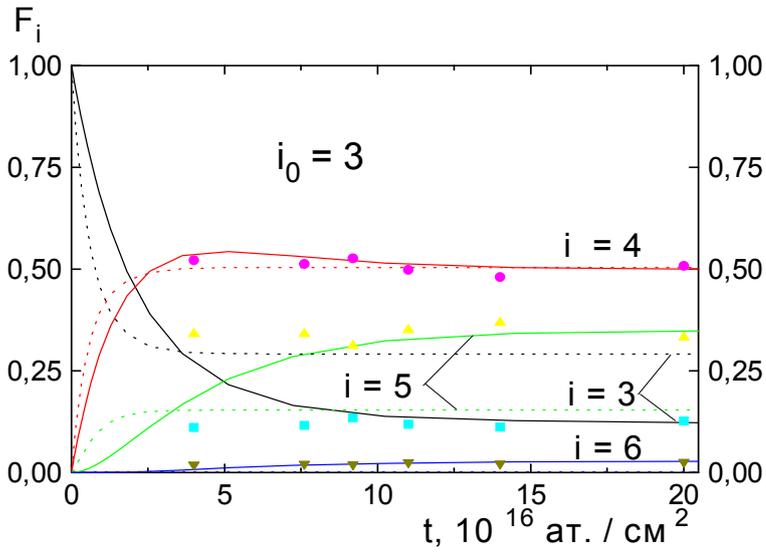


Рис.2.4.5(а)

$i_0=4$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $F_2$   | $F_3$   | $F_4$   | $F_5$   | $F_6$   | $F_7$   |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0  | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| 4,0                                      | 0,00753 | 0,12104 | 0,52310 | 0,33140 | 0,01630 | 0,00031 |
| 7,6                                      | 0,00704 | 0,12494 | 0,50605 | 0,34158 | 0,01980 | 0,00022 |
| 8,0                                      | 0,00841 | 0,13451 | 0,52367 | 0,31272 | 0,02018 | 0,00016 |
| 11,0                                     | 0,00807 | 0,11786 | 0,50799 | 0,34391 | 0,02170 | 0,00014 |
| 14,0                                     | 0,01195 | 0,11079 | 0,48412 | 0,36640 | 0,02633 | 0,00039 |
| 20,0                                     | 0,00887 | 0,12711 | 0,50200 | 0,33524 | 0,02628 | 0,00017 |

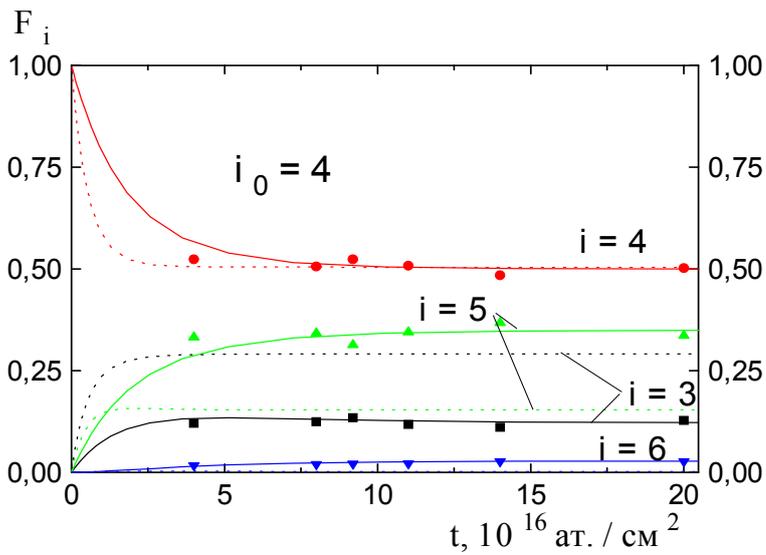


Рис.2.4.5(б)

$i_0=5$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         | 0.0000         |
| 4,0                                      | 0,00820        | 0,11953        | 0,50317        | 0,34468        | 0,02364        | 0,00011        |
| 7,7                                      | 0,00821        | 0,12002        | 0,48526        | 0,35856        | 0,02752        | 0,00013        |
| 9,2                                      | 0,00751        | 0,12048        | 0,51041        | 0,33641        | 0,02483        | 0,00014        |
| 11,0                                     | 0,00762        | 0,12116        | 0,53119        | 0,31211        | 0,02774        | 0,00005        |
| 14,0                                     | 0,00920        | 0,12336        | 0,45528        | 0,37937        | 0,03251        | 0,00026        |
| 20,0                                     | 0,00845        | 0,12815        | 0,50258        | 0,33413        | 0,02628        | 0,00010        |

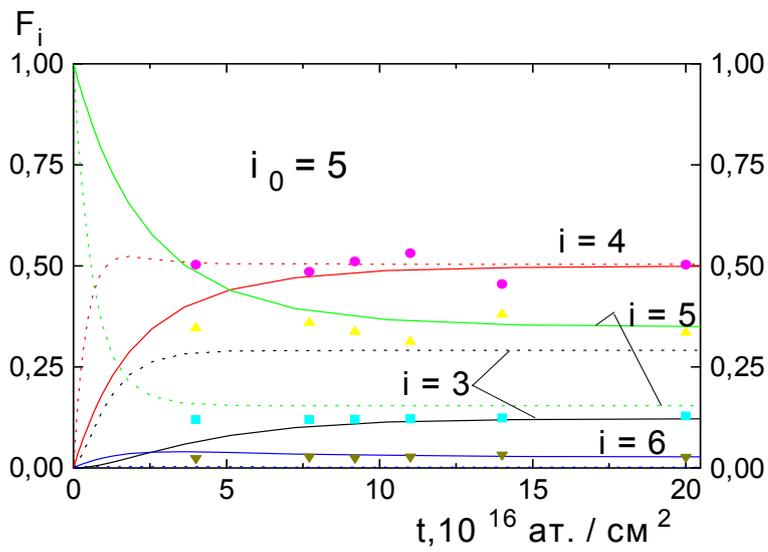


Рис.2.4.5(в)

 $i_0=6$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         |
| 4,0                                      | 0,00507        | 0,08426        | 0,39328        | 0,44824        | 0,06884        | 0,0000         |
| 7,2                                      | 0,00800        | 0,09062        | 0,40444        | 0,45094        | 0,05355        | 0,00042        |
| 9,2                                      | 0,00538        | 0,10214        | 0,45439        | 0,39360        | 0,04244        | 0,00047        |
| 11,0                                     | 0,00606        | 0,09743        | 0,42656        | 0,41712        | 0,05215        | 0,00033        |
| 14,0                                     | 0,01710        | 0,10682        | 0,45635        | 0,38518        | 0,03388        | 0,00066        |
| 20,0                                     | 0,00836        | 0,12372        | 0,48810        | 0,34825        | 0,03109        | 0,00014        |

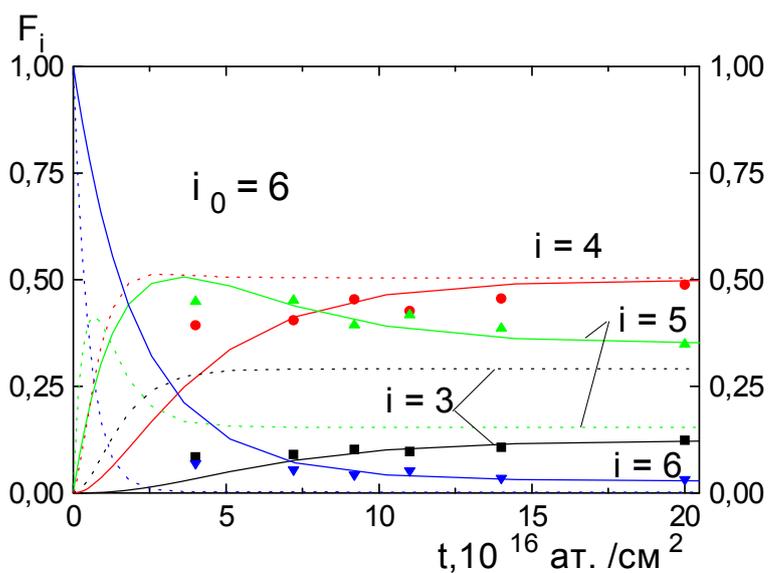


Рис.2.4.5(г)

 $i_0=7$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $F_2$   | $F_3$   | $F_4$   | $F_5$   | $F_6$   | $F_7$   |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  |
| 4,0                                      | 0,00521 | 0,06355 | 0,28995 | 0,45526 | 0,18196 | 0,00348 |
| 7,7                                      | 0,00934 | 0,09850 | 0,35627 | 0,42273 | 0,10571 | 0,00248 |
| 9,2                                      | 0,00714 | 0,08723 | 0,39994 | 0,41025 | 0,08036 | 0,00321 |
| 11,0                                     | 0,00513 | 0,08537 | 0,25418 | 0,43761 | 0,11205 | 0,00230 |
| 14,0                                     | 0,00700 | 0,12271 | 0,43516 | 0,39469 | 0,04613 | 0,00131 |
| 20,0                                     | 0,00767 | 0,11380 | 0,47693 | 0,36052 | 0,03258 | 0,00153 |

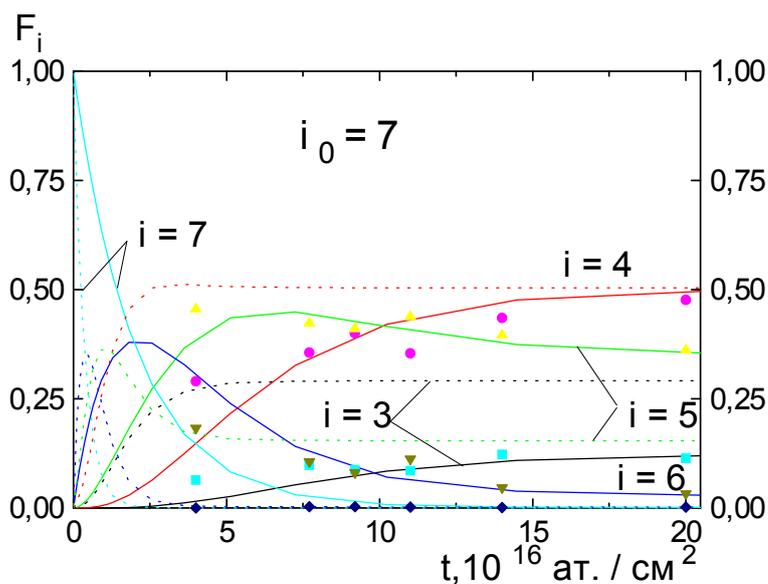


Рис.2.4.5(д)

Рис. 2.4.5 Зарядовые фракции ионов азота, имеющих начальную скорость  $V=8 \cdot 10^8$  см/с и различные начальные заряды  $i_0$ , в зависимости от толщины перезарядной мишени в

целлулоидной пленке. Значки – экспериментальные данные, сплошные кривые – результаты расчетов по (1) ( $i_0$  равно  $i$  при  $t=0$ ).

#### 2.4.5.4 Ионы азота в целлулоиде, $V=12 \cdot 10^8$ см/с, зарядовые фракции

$i_0=4$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0,0000         |
| 3,2                                      | 0.00016        | 0.01008        | 0.24156        | 0.64470        | 0.10014        | 0.00336        |
| 6,4                                      | 0.00036        | 0.01231        | 0.18841        | 0.63786        | 0.15373        | 0.00733        |
| 9,6                                      | 0.00058        | 0.00993        | 0.18370        | 0.58762        | 0.20269        | 0.01548        |
| 12,6                                     | 0.00039        | 0.01151        | 0.17045        | 0.58957        | 0.21082        | 0.01726        |
| 40,0                                     | 0.00046        | 0.00988        | 0.16542        | 0.57611        | 0.22561        | 0.02252        |

$i_0=5$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         | 0.0000         |
| 3,2                                      | 0.00022        | 0.01183        | 0.18409        | 0.66449        | 0.13807        | 0.00130        |
| 6,4                                      | 0.00027        | 0.01302        | 0.18110        | 0.63292        | 0.16710        | 0.00559        |
| 9,6                                      | 0.00001        | 0.01187        | 0.16261        | 0.60178        | 0.21068        | 0.01305        |
| 12,4                                     | 0.00035        | 0.01166        | 0.16576        | 0.59761        | 0.21389        | 0.01173        |
| 19,6                                     | 0.00010        | 0.00760        | 0.13182        | 0.58043        | 0.25667        | 0.02337        |
| 33,2                                     | 0.00028        | 0.01158        | 0.17227        | 0.57301        | 0.22592        | 0.01694        |
| 40,0                                     | 0.00026        | 0.01067        | 0.16259        | 0.57744        | 0.23211        | 0.01693        |

$i_0=6$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         |
| 3,2                                      | 0.00037        | 0.00931        | 0.06105        | 0.49820        | 0.42698        | 0.00409        |
| 6,4                                      | 0.00009        | 0.00852        | 0.12523        | 0.49550        | 0.35741        | 0.01325        |
| 9,6                                      | 0.00028        | 0.00841        | 0.14965        | 0.55477        | 0.26898        | 0.01791        |
| 12,6                                     | 0.00020        | 0.01107        | 0.15768        | 0.55816        | 0.25629        | 0.01660        |
| 19,6                                     | 0.00007        | 0.00741        | 0.12820        | 0.55593        | 0.28206        | 0.02634        |
| 40,0                                     | 0.00036        | 0.01008        | 0.16199        | 0.57964        | 0.23311        | 0.01482        |

$i_0=7$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         |
| 12,8                                     | 0.0000         | 0.00943        | 0.19811        | 0.49057        | 0.26415        | 0.03373        |
| 19,6                                     | 0.00011        | 0.00640        | 0.12143        | 0.54417        | 0.28745        | 0.04044        |

#### 2.4.5.5 Ионы азота в целлюлоиде, $V=4 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=1)$ | $I_{cp} (I_0=2)$ | $I_{cp} (I_0=3)$ | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 1                | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                |
| 10,4                                     | 2,22             | 2,17             | 2,24             | 2,28             | 2,31             | 2,8              |
| 20,8                                     | 2,1              | 2,16             | 2,24             | 2,29             | 2,27             | 2,57             |
| 31,2                                     | 2,3              | 2,32             | 2,32             | 2,27             | 2,27             | 2,43             |
| 41,6                                     | 2,23             | 2,26             | 2,23             | 2,27             | 2,24             | 2,31             |

#### 2.4.5.6 Ионы азота в целлюлоиде, $V=6 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=2)$ | $I_{cp} (I_0=3)$ | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 2                | 3                | 4                | 5                | 6                |
| 8,8                                      | 3,3              | 3,33             | 3,37             | 3,38             | 3,68             |
| 13,2                                     | 3,28             | 3,31             | 3,33             | 3,32             | 3,54             |
| 17,6                                     | 3,28             | 3,33             | 3,34             | 3,33             | 3,47             |
| 26,4                                     | 3,29             | 3,33             | 3,35             | 3,34             | 3,42             |

#### 2.4.5.7 Ионы азота в целлюлоиде, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, средние заряды

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=3)$ | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ | $I_{cp} (I_0=7)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                |
| 4,0                                      | 4,501            | 4,2276           | 4,2555           | 4,4903           | 4,7289           |
| 7,6                                      | 4,2468           | 4,2413           | 4,2764           | 4,4846           | 4,5045           |
| 9,2                                      | 4,1964           | 4,2008           | 4,2501           | 4,3607           | 4,4316           |
| 11,0                                     | 4,02639          | 4,2524           | 4,2308           | 4,4115           | 4,1595           |
| 14,0                                     | 4,2643           | 4,2855           | 4,3033           | 4,3139           | 4,3822           |
| 20,0                                     | 4,2375           | 4,2421           | 4,2407           | 4,2691           | 4,2733           |

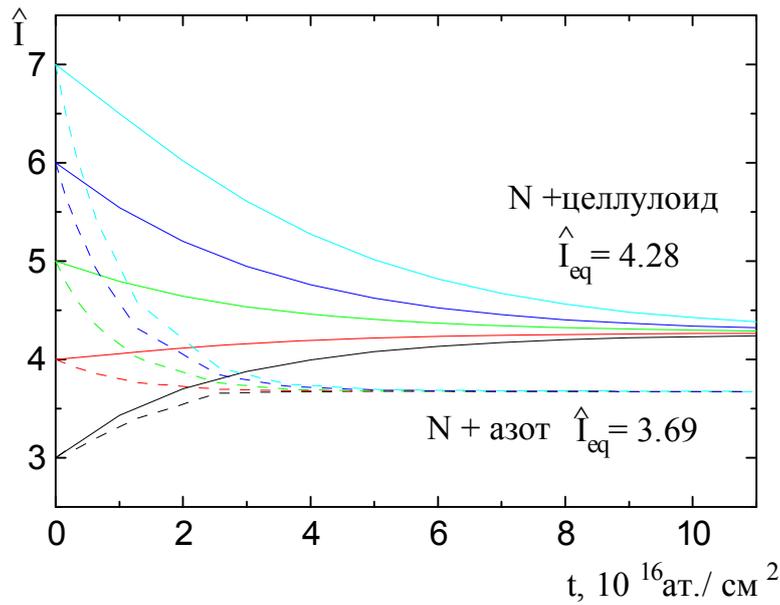


Рис. 2.4.6 Средний заряд ионов при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины мишени в целлюлоидной пленке (сплошные линии) и в азоте (пунктирные линии). Значки – экспериментальные данные.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

#### 2.4.5.7 Ионы азота в целлюлоиде, $V=12 \cdot 10^8$ см/с, СРЕДНИЕ ЗАРЯДЫ

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (i_0=4)$ | $I_{cp} (i_0=5)$ | $I_{cp} (i_0=6)$ | $I_{cp} (i_0=7)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 4                | 5                | 6                | 7                |
| 3,2                                      | 4,8447           | 4,9323           | 5,3544           |                  |
| 6,4                                      | 4,9543           | 4,9703           | 5,2414           |                  |
| 9,6                                      | 5,0283           | 5,0504           | 5,1375           |                  |
| 12,4                                     |                  | 5,0522           |                  |                  |
| 12,6                                     | 5,0507           |                  | 5,1091           |                  |
| 12,8                                     |                  |                  |                  | 5,0946           |
| 19,6                                     |                  | 5,1560           | 5,1816           | 5,2338           |
| 33,2                                     |                  | 5,0635           |                  |                  |
| 40,0                                     | 5,0841           | 5,0923           | 5,0795           |                  |

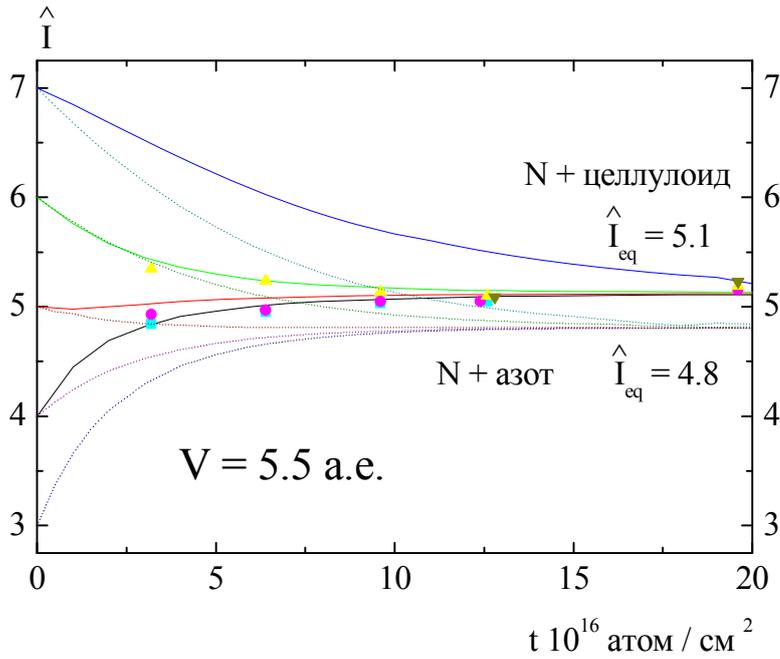


Рис. 2.4.7 Средний заряд ионов при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины мишени в целлюлоидной пленке (сплошные линии) и в азоте (пунктирные линии). Значки – экспериментальные данные.  $V = 12 \cdot 10^8$  см/с.

#### 2.4.5.8 Ионы азота в углероде, $V=8 \cdot 10^8$ см/с, зарядовые фракции

$I_0=2$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 1              | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 4,15                                     | 0,21           | 0,12           | 0,37           | 0,28           | 0,02           |
| 5,0                                      | 0,04           | 0,03           | 0,47           | 0,33           | 0,026          |
| 5,74                                     | 0,01           |                | 0,49           | 0,32           | 0,03           |
| 6,44                                     | 0,01           | 0,15           | 0,40           |                |                |
| 14                                       |                | 0,13           | 0,45           | 0,33           | 0,03           |
| 70                                       |                | 0,12           | 0,52           | 0,33           | 0,03           |

$I_0=4$

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
|  |                |                |                |                |

|      |       |      |      |      |
|------|-------|------|------|------|
| 0    | 0     | 1    | 0    | 0    |
| 4,15 | 0,13  | 0,60 | 0,25 | 0,02 |
| 5,0  | 0,125 | 0,50 | 0,35 | 0,02 |
| 5,8  | 0,12  | 0,52 | 0,33 | 0,02 |
| 6,7  |       | 0,51 |      | 0,02 |
| 14   | 0,12  | 0,51 | 0,34 | 0,03 |
| 70   | 0,13  | 0,51 | 0,34 | 0,02 |

**I<sub>0</sub>=5**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0              | 0              | 0              | 1              |
| 3,7   | 0,12           | 0,49           | 0,37           | 0,01           |
| 5,0   | 0,12           | 0,50           | 0,36           | 0,02           |
| 5,8   | 0,10           |                | 0,37           |                |
| 7,0   | 0,13           | 0,49           | 0,37           | 0,02           |
| 14  | 0,11           | 0,49           | 0,37           | 0,02           |
| 70  | 0,12           | 0,49           | 0,37           | 0,02           |

**I<sub>0</sub>=6**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0              | 0              | 0              | 1              |
| 3,8   | 0,13           | 0,43           | 0,29           | 0,15           |
| 5,0   | 0,14           | 0,45           | 0,30           | 0,11           |
| 5,3   | 0,11           | 0,51           | 0,33           |                |
| 5,56  | 0,18           | 0,44           | 0,32           | 0,17           |
| 14  | 0,11           | 0,50           | 0,35           | 0,07           |
| 26  |                |                |                | 0,03           |
| 70  | 0,12           | 0,50           | 0,36           | 0,02           |

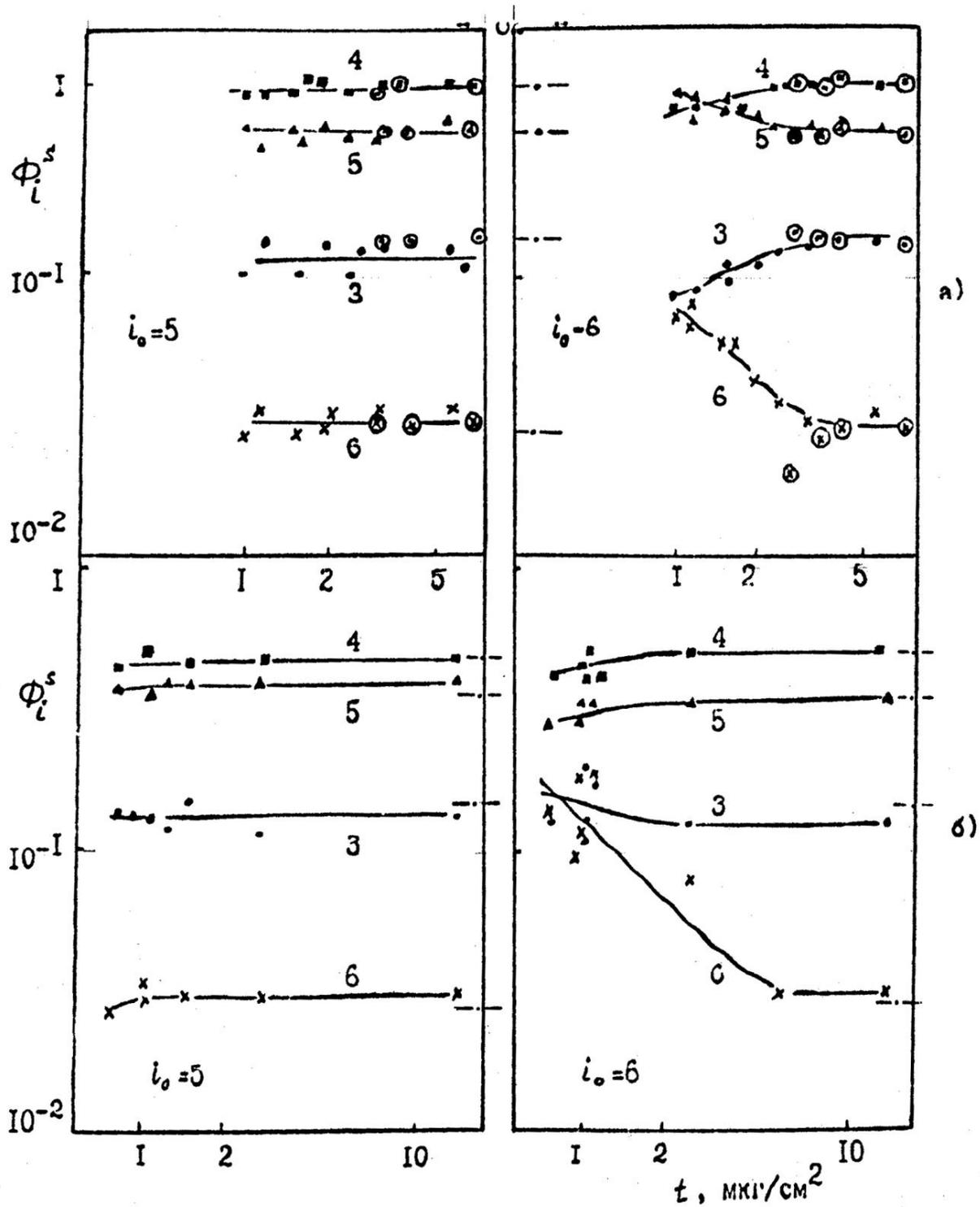


Рис.2.4.8 Зарядовые фракции ионов азота при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины мишени в целлюлоиде (а) и углероде (б).  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.



|        |         |         |         |         |         |         |         |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0      | 0.0000  | 0.0000  | 1.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  |
| 4.800  | 0.00016 | 0.00432 | 0.07416 | 0.40665 | 0.43426 | 0.08171 | 0.00054 |
| 7.000  | 0.00023 | 0.00407 | 0.06513 | 0.39264 | 0.44302 | 0.09400 | 0.00091 |
| 8.000  | 0.00013 | 0.00438 | 0.06647 | 0.39801 | 0.43902 | 0.09116 | 0.00083 |
| 13.800 | 0.00007 | 0.00428 | 0.06163 | 0.38384 | 0.44299 | 0.10585 | 0.00134 |
| 20.000 | 0.00016 | 0.00452 | 0.06397 | 0.38350 | 0.43606 | 0.11086 | 0.00108 |
| 36.000 | 0.00017 | 0.00415 | 0.06298 | 0.38167 | 0.42966 | 0.12030 | 0.00123 |
| 76.800 | 0.00014 | 0.00549 | 0.07867 | 0.41311 | 0.40911 | 0.09404 | 0.00123 |

**I<sub>0</sub>=4**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         |
| 4.800   | 0.00036        | 0.02929        | 0.07009        | 0.38337        | 0.43238        | 0.08387        | 0.00064        |
| 7.000   | 0.00014        | 0.00467        | 0.06786        | 0.38119        | 0.44974        | 0.09560        | 0.00080        |
| 8.000   | 0.00012        | 0.03552        | 0.06711        | 0.37846        | 0.42785        | 0.09018        | 0.00076        |
| 13.800  | 0.00017        | 0.00453        | 0.06587        | 0.37240        | 0.44943        | 0.10646        | 0.00114        |
| 20.000  | 0.00018        | 0.00441        | 0.06587        | 0.39356        | 0.42141        | 0.11369        | 0.00088        |
| 36.000  | 0.00017        | 0.00519        | 0.07022        | 0.40334        | 0.40402        | 0.11581        | 0.00056        |
| 76.800  | 0.00016        | 0.00629        | 0.08010        | 0.42522        | 0.39781        | 0.08969        | 0.00074        |

**I<sub>0</sub>=5**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 5.0000         | 0.0000         | 0.0000         |
| 4.800   | 0.00018        | 0.02776        | 0.06782        | 0.37695        | 0.43891        | 0.08766        | 0.00072        |
| 7.000   | 0.00019        | 0.00437        | 0.08053        | 0.37953        | 0.44005        | 0.09436        | 0.00097        |
| 8.000   | 0.00012        | 0.02750        | 0.06792        | 0.36726        | 0.44096        | 0.09552        | 0.00072        |
| 13.800  | 0.00015        | 0.00491        | 0.07334        | 0.38708        | 0.43501        | 0.09861        | 0.00090        |
| 20.000  | 0.00015        | 0.00451        | 0.06275        | 0.37251        | 0.44486        | 0.11336        | 0.00185        |
| 36.000  | 0.00017        | 0.00558        | 0.07442        | 0.40975        | 0.40449        | 0.10510        | 0.00049        |
| 76.800  | 0.00016        | 0.00578        | 0.08305        | 0.42822        | 0.39184        | 0.09038        | 0.00058        |

**I<sub>0</sub>=6**

| ТОЛЩИНА,<br>10 <sup>16</sup> АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0   | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         | 0.0000         |
| 4.800   | 0.00030        | 0.00490        | 0.06278        | 0.38977        | 0.42202        | 0.11911        | 0.00111        |
| 7.000   | 0.00032        | 0.00491        | 0.06431        | 0.37041        | 0.44200        | 0.11614        | 0.00191        |
| 8.000   | 0.00025        | 0.00449        | 0.06739        | 0.42121        | 0.39548        | 0.11052        | 0.00066        |
| 13.800  | 0.00015        | 0.00570        | 0.07013        | 0.36452        | 0.44184        | 0.11639        | 0.00127        |
| 20.000  | 0.00013        | 0.00419        | 0.06776        | 0.38672        | 0.43214        | 0.10711        | 0.00195        |
| 36.000  | 0.00017        | 0.00464        | 0.06352        | 0.44674        | 0.38979        | 0.09407        | 0.00107        |
| 76.800  | 0.00016        | 0.00572        | 0.07667        | 0.39824        | 0.42173        | 0.09617        | 0.00132        |

$I_0=7$ 

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | F <sub>1</sub> | F <sub>2</sub> | F <sub>3</sub> | F <sub>4</sub> | F <sub>5</sub> | F <sub>6</sub> | F <sub>7</sub> |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 0  | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 0.0000         | 1.0000         |
| 4.800                                    | 0.00020        | 0.00321        | 0.03799        | 0.24376        | 0.39559        | 0.31342        | 0.00584        |
| 7.000                                    | 0.00017        | 0.00401        | 0.04274        | 0.27446        | 0.41185        | 0.26041        | 0.00636        |
| 8.000                                    | 0.00017        | 0.00313        | 0.04574        | 0.27511        | 0.41095        | 0.25983        | 0.00508        |
| 13.800                                   | 0.00011        | 0.00441        | 0.05758        | 0.33417        | 0.41948        | 0.18110        | 0.00315        |
| 20.000                                   | 0.00017        | 0.00340        | 0.06485        | 0.35170        | 0.42589        | 0.15048        | 0.00350        |
| 36.000                                   | 0.00017        | 0.00576        | 0.06983        | 0.38854        | 0.42330        | 0.11085        | 0.00154        |
| 76.800                                   | 0.00017        | 0.00545        | 0.07169        | 0.40955        | 0.41588        | 0.09602        | 0.00125        |

#### 2.4.6.2 Ионы КИСЛОРОДА в ЦЕЛЛУЛОИДЕ, $V=8 \cdot 10^8$ СМ/С

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=3)$ | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ | $I_{cp} (I_0=7)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 3                | 4                | 5                | 6                | 7                |
| 4,8                                      | 4,5232           | 4,4723           | 4,4925           | 4,5900           | 4,9950           |
| 7,0                                      | 4,5598           | 4,5657           | 4,5418           | 4,6049           | 4,9005           |
| 8,0                                      | 4,5482           | 4,4720           | 4,5109           | 4,5414           | 4,8934           |
| 13,8                                     | 4,5883           | 4,5903           | 4,5513           | 4,5964           | 4,7244           |
| 20,0                                     | 4,5881           | 4,5762           | 4,6049           | 4,5757           | 4,6652           |
| 36,0                                     | 4,6028           | 4,5535           | 4,5301           | 4,5078           | 4,5677           |
| 76,8                                     | 4,5180           | 4,4863           | 4,4793           | 4,5295           | 4,5286           |

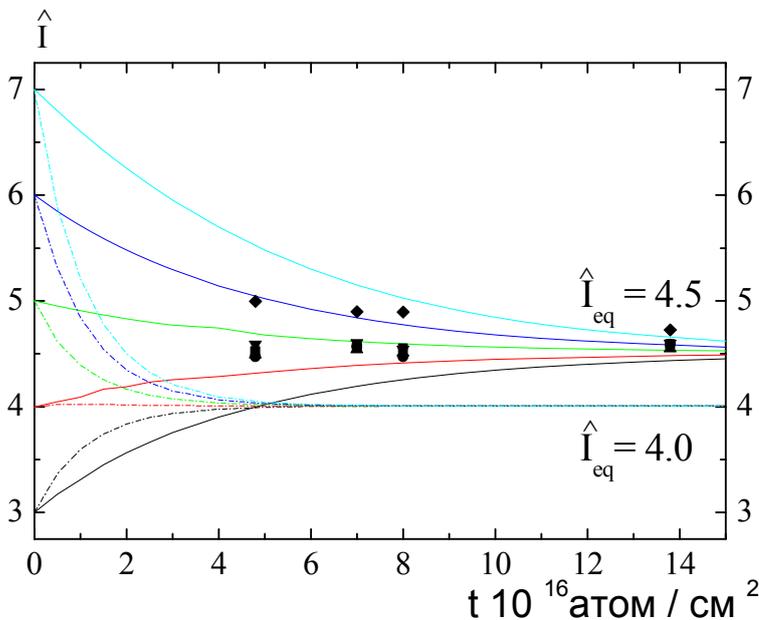


Рис. 2.4.10 Средний заряд ионов при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины мишени в целлулоидной пленке (сплошные кривые) и в азоте (пунктирные кривые). Значки – экспериментальные данные.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

## 2.4.7 ИОНЫ НЕОНА

### 2.4.7.1 ИОНЫ НЕОНА В ЦЕЛЛУЛОИДЕ, $V=8 \cdot 10^8$ СМ/С, СРЕДНИЙ ЗАРЯД

| ТОЛЩИНА,<br>$10^{16}$ АТ/СМ <sup>2</sup> | $I_{cp} (I_0=4)$ | $I_{cp} (I_0=5)$ | $I_{cp} (I_0=6)$ | $I_{cp} (I_0=7)$ | $I_{cp} (I_0=8)$ |
|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 0  | 4                | 5                | 6                | 7                | 8                |
| 5,6                                      |                  | 5,74             | 5,76             | 5,77             | 6,2              |
| 22                                       | 5,82             | 5,83             | 5,83             | 5,83             | 5,81             |

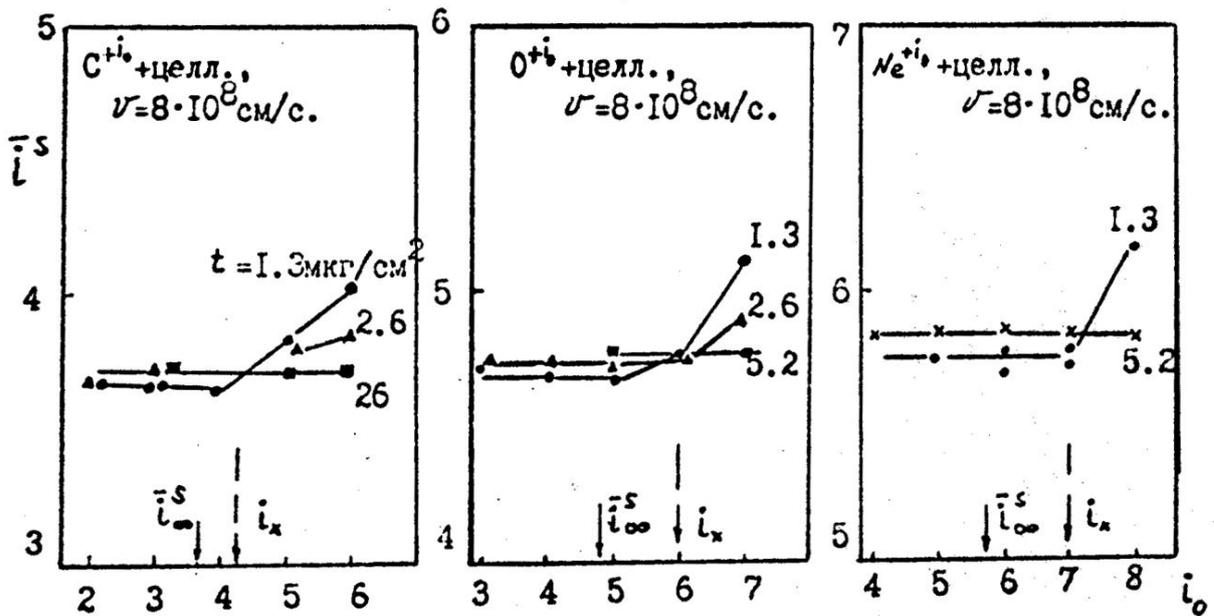


Рис. 2.4.11 Средний заряд ионов при различных начальных зарядах  $i_0$  в зависимости от толщины мишени в целлулоидной пленке. Значки – экспериментальные данные.  $V = 8 \cdot 10^8$  см/с.

Юлия Александровна Белкова, Яна Анатольевна Теплова

**РАВНОВЕСНЫЕ И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЗАРЯДОВЫЕ  
СОСТОЯНИЯ ИОНОВ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ  
ГАЗОВЫЕ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ МИШЕНИ**

**Препринт НИИЯФ МГУ №2011-14/878**

Работа поступила в ОНТИ 9 декабря 2011