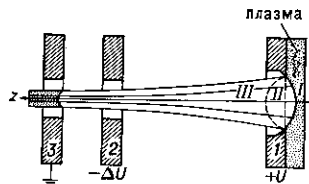


ков. Так получают синтезированные ион-электронные или ион-ионные пучки с компенсированным объёмным зарядом; при этом одновременно с компенсацией объёмного заряда часто осуществляется необходимая токовая компенсация. В результате происходит переход к плазм. потокам, называемым в плотных И. п. ионно-пучковой плазмой. Из-за немаксвелловского распределения скоростей возникают коллективные явления — электронные и ионные колебания. Коллективные эффекты, приводя к изменению фазового объёма, также влияют на транспортировку И. п.

Для получения И. п. часто используют ионные источники с газоразрядными ионизац. камерами и тогда отбор ионов осуществляется не с фиксированной поверхности твёрдого тела, а с границы плазмы, перемещающейся при изменении внеш. условий или режима работы источника (рис. 2). В этом случае первичное

Рис. 2. Система первичного формирования ускоренного пучка ионов, извлекаемого из плазменного источника: 1, 2, 3 — электроды. I — вогнутая граница плазмы, II — плоская, III — выпуклая.



формирование И. п. связано с т. н. плазм. фокусировкой. При увеличении ускоряющей разности потенциалов U граница плазмы из выпуклой (III) становится вогнутой (I), создаются условия для фокусировки пучка. Электрод 2 с отверстием для пучка, имеющий потенциал ниже потенциала заземлённого электрода 3, удерживает электроны, компенсирующие ионный пучок, и ускоряет сам ионный пучок. В дальнейшем И. п. могут фокусироваться с помощью эл.-статич. и магн. линз (см. *Электронные линзы*). Сжатие И. п. связано с их «охлаждением» — уменьшением фазового объёма. Одним из методов охлаждения «горячего» И. п. является совмещение его с «холодным» электронным пучком.

В 80-е гг. получают квазистационарные И. п. с током до 100 А, импульсные — с током до сотен тысяч А. Важной проблемой остаётся транспортировка таких пучков.

И. п. широко применяются в самых разл. областях науки и техники: в ускорителях, установках по осуществлению управляемого ионного термоядерного синтеза, в разнообразных технол. установках, масс-спектрометрии, установках для разделения изотопов, для исследования поверхности твёрдых тел, для т. н. сухого травления в технологии микроэлектроники и т. д.

Лит.: Габович М. Д., Физика и техника плазменных источников ионов, М., 1972; его же, Ионно-пучковая плазма и распространение интенсивных компенсированных ионных пучков, «УФН», 1977, т. 121, с. 259; Семашко Н. Н. и др., Инжекторы быстрых атомов водорода, М., 1981; Быстрицкий В. М., Диденко А. П., Мощные ионные пучки, М., 1984; Диденко А. Н., Литачёв А. Е., Куракин И. Б., Воздействие пучков заряженных частиц на поверхность металлов и сплавов, М., 1987. М. Д. Габович.

ИОННЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ (ИТС) — возбуждение реакции термоядерного синтеза в дейтерий-тритиевой (DT) мишени путём сжатия и разогрева мишени бомбардировкой пучками ускоренных ионов. ИТС не осуществлён, а находится в стадии разработки.

Мишень для ИТС представляет собой шаровой слой из замороженной DT смеси массой в неск. мг, окружённый тяжёлой металлич. оболочкой, к-рая может иметь сложную несферич. форму. Реакция синтеза развивается благодаря тому, что сжатая и разогретая DT смесь в течение достаточного для реакции времени инерционно удерживается от разлёта тяжёлой наружной оболочкой. Идея ИТС высказана в 1974.

Мишень помещается в центре вакуумированного объёма радиусом до 10 м и облучается одновременно неск. десятками импульсных ионных пучков, симметрично расположенных в одной плоскости. Устройство, уско-

ряющее и формирующее ионные пучки (драйвер), находится вне объёма реактора.

Исследуются физ. модели мишени разл. структур. На рис. 1 в качестве примера схематично показана одинарная трёхслойная мишень шаровой формы. Энергия ионов выделяется в основном в промежуточном слое, состоящем из свинцово-литиевой эвтектики. Механизм выделения энергии — классич. процессы ионизации. Суммарная энергия ионных пучков должна составлять от 3 до 10 МДж при длительности 20÷30 нс, а суммарная мощность от 100 до 500 ТВт, что позволяет разогреть промежуточный слой до темп-ры ~100 эВ. Благодаря быстрому разогреву промежуточного слоя развивается огромное давление ~10⁷ МПа, сжимающее по объёму DT смесь в 10³—10⁴ раз и разогревающее её до темп-ры выше 2 кэВ. Для разогрева DT смеси, помимо сходящейся ударной волны, эффективно используется эл.-магн. излучение, к-рое в основном задерживается внутри мишени. Эти процессы приводят к началу ИТС в центр. части мишени. Термоядерные α-частицы, образующиеся при развитии реакции синтеза, также задерживаются в мишени и отдают свою энергию соседним участкам. От центр. участков DT смеси к её внеш. слоям распространяется термоядерная волна горения, в результате чего должно происходить почти полное сгорание всей DT смеси.

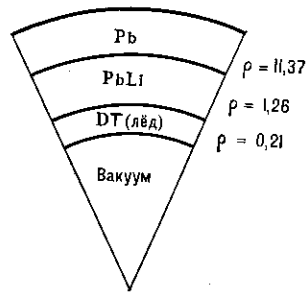


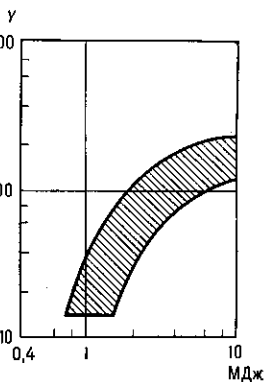
Рис. 1. Схема одинарной трёхслойной мишени.

На рис. 2 представлена теоретич. зависимость термоядерного выигрыша Y (отношения энергии, полученной в реакции синтеза, к энергии, вложенной в мишень) в одинарной мишени от величины вложенной в мишень энергии. Ширина полосы соответствует неопределённости совр. теории. При вложенной энергии 10 МДж можно ожидать термоядерного выигрыша $Y=100$.

Особенности ИТС — пространственное разделение драйвера и реактора, упрощающее выбор конструкции и материалов реактора; объёмное вложение энергии в мишень, существенно повышающее долю полезной используемой энергии пучков; применение ионных ускорителей, развитие к-рых стимулируется многими областями физики и техники; высокая прозрачность каналов транспортировки пучков.

Макс. мощность P , к-рую может передать ионный пучок, фокусируемый на мишень, ограничена кулоновским расталкиванием частиц в пучке $P \sim (\gamma-1)\beta^3\gamma^3(A/Z)^2$ и магн. самоограничением тока пучка $P \sim (\gamma-1)\beta\gamma(A/Z)^2$ [здесь β — отношение скорости иона к скорости света; γ — лоренц-фактор: $\gamma=(1-\beta^2)^{-1/2}$; A — ат. масса, Z — заряд иона]. Пробег ионов в мишени не должен превышать 0,2—0,8 г/см². Протоны обладают таким пробегом при энергиях ~10 МэВ, а тяжёлые ионы ($A \geq 200$) — при энергиях 50÷100 МэВ/нуклон. Как видно из приведённых ф-л., передача мощности ионными пучками существенно упрощается при высоком значении энер-

Рис. 2. Зависимость термоядерного выигрыша в одинарной мишени от величины вложенной в мишень энергии.



драйвера и реактора, упрощающее выбор конструкции и материалов реактора; объёмное вложение энергии в мишень, существенно повышающее долю полезной используемой энергии пучков; применение ионных ускорителей, развитие к-рых стимулируется многими областями физики и техники; высокая прозрачность каналов транспортировки пучков.

Макс. мощность P , к-рую может передать ионный пучок, фокусируемый на мишень, ограничена кулоновским расталкиванием частиц в пучке $P \sim (\gamma-1)\beta^3\gamma^3(A/Z)^2$ и магн. самоограничением тока пучка $P \sim (\gamma-1)\beta\gamma(A/Z)^2$ [здесь β — отношение скорости иона к скорости света; γ — лоренц-фактор: $\gamma=(1-\beta^2)^{-1/2}$; A — ат. масса, Z — заряд иона]. Пробег ионов в мишени не должен превышать 0,2—0,8 г/см². Протоны обладают таким пробегом при энергиях ~10 МэВ, а тяжёлые ионы ($A \geq 200$) — при энергиях 50÷100 МэВ/нуклон. Как видно из приведённых ф-л., передача мощности ионными пучками существенно упрощается при высоком значении энер-