

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Б. И. Гринченко, О возможности создания лазера на переходах молекулы  $(\text{NeH})^+$ , *ТВТ*, 2001, том 39, выпуск 6, 999–1001

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.9.171

18 марта 2025 г., 12:58:03



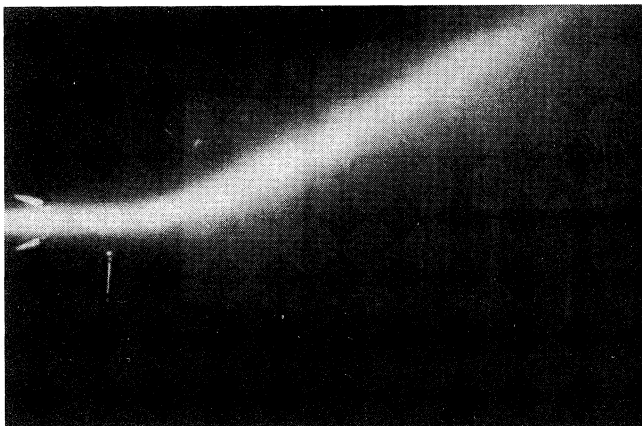


Рис. 3. Фотография, демонстрирующая возможность захвата СРЭП ( $I = 20$  кА,  $\varepsilon \sim 1$  МэВ,  $\tau = 50$  нс) струей водяного пара при нормальном атмосферном давлении. Угол  $\alpha$  близок к своему критическому значению.

более быстрый спад во времени поперечного магнитного поля.

Вопросы захвата СРЭП струей водяного пара при нормальном атмосферном давлении достаточно подробно рассмотрены в работах автора [8, 9]. Отметим лишь, что между направлением инъекции пучка и направлением подачи струи водяного пара существует такое критическое значение угла  $\alpha$ , что при угле  $\alpha$ , большем критического, захвата пучка не происходит. На практике этот критический угол составляет приблизительно  $27^\circ$ . Захват СРЭП струей пара показан на рис. 3.

Ослабление токовой нейтрализации пучка за счет образования холодной неравновесной плазмы может быть с успехом использовано для очистки от сажи и ржавчины с помощью СРЭП металлических труб при одновременном воздействии на них струей водяного пара, а также для обработки пучком других трудно доступных мест или изделий. Кроме этого, существуют и другие более экзотические предложения для использования энергии СРЭП, в частности, описанные в [10].

УДК 621.375.826

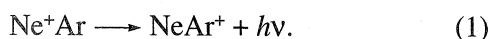
## О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЛАЗЕРА НА ПЕРЕХОДАХ МОЛЕКУЛЫ (NeH)<sup>+</sup>

© 2001 г. Б. И. Гринченко

Москва

Поступило в редакцию 27.04.2001 г.

В работе [1] предложено использовать в качестве лазерных переходы типа



Автор выражает благодарность В.П. Григорьеву за обсуждение вопросов, связанных с явлением токовой нейтрализации пучка, Г.Е. Ремневу за предоставленную возможность провести эксперименты на ускорителе “ТОНУС” и Ю.П. Сурикову за помощь в реализации экспериментов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.П. Мощные электронные пучки и их применение. М.: Атомиздат, 1977. 270 с.
2. Grigoryev V.P., Patashev A.G., Protasevich E.T. The Large-Scale Resistive Instabilities Investigation of the High-Current Electron Beam in Air, Argon and Helium // Beams-88. 1988. V. 2. P. 989.
3. Протасевич Е.Т. Холодная неравновесная плазма газового разряда // ТВТ. 1989. Т. 27. № 6. С. 1206.
4. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М.: Наука, 1965. 683 с.
5. Протасевич Е.Т., Сметанин В.И., Суриков Ю.П. Взаимодействие СЭП с увлажненной средой // Томск. 1988. 6с. – Деп. В ВИНТИ 9.02.88. № 1077-В 88.
6. Protasevich E.T. Cold Non-Equilibrium Plasma. Generation. Properties. Appl. Cambridge: Cambridge Intern. Sci. Publ. 1999. 204 p.
7. Котляревский Г.И., Усов Ю.П. Регулировка длительности импульса тока сильноточных релятивистских электронных пучков // ЖТФ. 1977. Т. 47. № 9. С. 1981.
8. Protasevich E.T. Natural Electromagnetic Background and Long-Lived Glowing Phenomena in the Atmosphere. Tomsk: Tomsk Polytechnic Publ., 1995. 70 p.
9. Протасевич Е.Т. Холодная неравновесная плазма: генерация, свойства, области применения. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 1997. 312 с.
10. Протасевич Е.Т., Протасевич А.Е. О возможности распространения сильноточного электронного пучка вдоль кильватерного следа корабля // Энергетика: экология, надежность, безопасность. Томск: 2000. С. 233.

Однако из-за невысокой энергии связи молекул типа  $\text{Ne}^+\text{Ar}$  (десять доли эВ) и отсутствия эффективных каналов образования этих ионов в реаль-

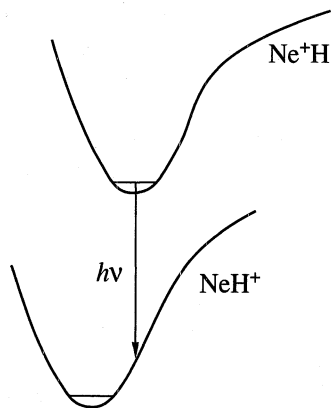


Рис. 1. Схема термов молекулы  $(\text{NeH})^+$ .

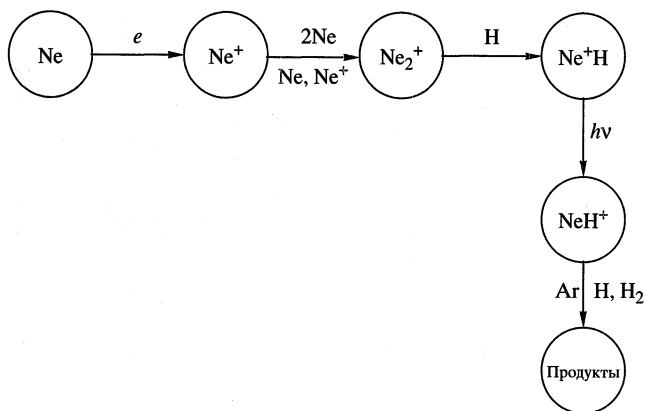
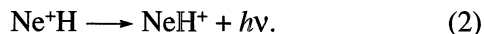


Рис. 2. Схема процессов образования и разрушения молекул  $(\text{NeH})^+$ .

ных условиях получить существенную инверсию на переходах (1) вряд ли возможно.

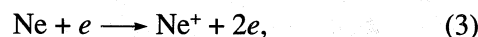
В настоящей работе впервые исследуется возможность создания лазера на переходах молекулы  $(\text{NeH})^+$



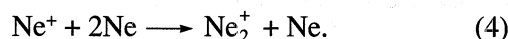
На рис. 1 схематически изображены термы молекулы  $(\text{NeH})^+$ . Энергия связи молекулы  $\text{NeH}^+$  в основном электронном состоянии (нижний лазерный уровень) составляет  $D(\text{NeH}^+) = 2.1$  эВ [2], а литературные данные об энергии диссоциации электронно-возбужденной молекулы  $\text{Ne}^+\text{H}$  отсутствуют. Изоэлектронная  $\text{Ne}^+\text{H}$  молекула  $\text{FH}$  имеет энергию связи 5 эВ [2]. Хотя из-за значительного отличия потенциалов ионизации атомов неона и водорода аналогия электронных структур достаточно условна, можно предположить, что, по крайней мере,  $D(\text{Ne}^+\text{H}) \approx 2$  эВ. Длина волны перехода в (2)  $\lambda \approx 180$  нм.

Рис. 2 иллюстрирует кинетическую модель образования электронно-возбужденных молекул  $\text{Ne}^+\text{H}$  на примере возбуждения смеси  $\text{Ne}$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{H}_2$  электронным пучком (или другим жестким ионизатором).

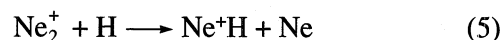
Общая схема основных процессов, приводящих к возникновению инверсии, сводится к следующему. В результате столкновений атомов неона с электронами пучка и каскада образуются ионы неона



которые вступают в реакцию ассоциации



В реакции



образуются ионы  $\text{Ne}^+\text{H}$ . Поскольку  $D(\text{Ne}_2^+) \approx 1.1$  эВ [2], (5) является экзотермической реакцией с энергетическим дефектом  $\approx 1$  эВ, благоприятным для ее эффективного протекания [3]. Вероятность образования в (5) других продуктов из-за большого энергетического дефекта ( $\approx 8$  эВ) практически равна нулю [3].

Ионы  $\text{Ne}^+\text{H}$  могут разрушаться при столкновениях с  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$  и с электронами



а также при радиационном распаде (2).

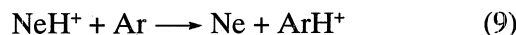
Ограничения на концентрации  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$  и электронов получим из условия одинаковой вероятности (6), (7) и радиационного распада (2)

$$[\text{H}, \text{H}_2] \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}, \quad n_e \approx 10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-3}.$$

Удобство выбора аргона для тушения нижнего лазерного уровня  $\text{NeH}^+$  связано с тем, что вероятность протекания реакции



из-за большого энергетического дефекта ( $\sim 6$  эВ) весьма мала [3], тогда как процесс тушения нижнего лазерного состояния



с энергетическим дефектом 1.4 эВ протекает эффективно [3].

Конкурирующие с процессами образования молекулярных ионов  $\text{Ne}_2^+$ ,  $\text{Ne}^+\text{H}$  в (4), (5) реакции



из-за малых констант скоростей (не превышающих соответственно  $3 \times 10^{-13}$  и  $5 \times 10^{-14} \text{ см}^3\text{с}^{-1}$  [3])

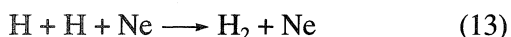
практически не влияют на эффективность образования  $\text{Ne}^+\text{H}$ , а константа скорости реакции



равна  $1.1 \times 10^{-10} \text{ см}^3\text{с}^{-1}$  [3], так что полезный канал (5) доминирует при степени диссоциации молекул водорода  $\approx 0.2$ .

Оценочный расчет показал, что при импульсном ( $\approx 10$  нс) возбуждении электронным пучком смеси  $\text{Ne} : \text{Ar} : \text{H}_2 = 3 \times 10^{19} : 10^{18} : 10^{17} \text{ см}^{-3}$  с плотностью тока, соответствующей в максимуме  $n_e \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$ , к.п.д. образования  $\text{Ne}^+\text{H}$  (по отношению к  $\text{Ne}^+$ ) около 70%,  $[\text{Ne}^+\text{H}] \approx 3 \times 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ,  $[\text{NeH}^+] \approx 5 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$ . Диссоциативной рекомбинацией молекулярных ионов с электронами ( $T_e \approx 1$  эВ) в масштабе характерных времен образования и разрушения молекул  $\text{Ne}^+\text{H}$  можно пренебречь. Для оценки констант скоростей (5), (6), (9) использовалась типичная величина  $10^{-9} \text{ см}^3\text{с}^{-1}$  [3].

При проведении расчета предполагалось, что степень диссоциации молекул водорода  $\approx 0.5$ . Характерное время реакции



в рассматриваемых условиях  $\approx 3 \times 10^{-4} \text{ с}$  [4]. Следовательно, для поддержания необходимой степени диссоциации водорода частота следования

импульсов накачки должна составлять несколько килогерц.

Если сдвиг равновесных межъядерных расстояний в  $\text{Ne}^+\text{H}$  и  $\text{NeH}^+$  окажется достаточным для перехода из основного колебательного состояния  $\text{Ne}^+\text{H}$  в колебательно-возбужденное состояние  $\text{NeH}^+(\nu)$ , быстрая колебательная релаксация которого приводит к опустошению нижнего лазерного уровня, необходимость в тушителе ( $\text{Ar}$ ) отпадает и в качестве активной среды может быть использована бинарная смесь  $\text{Ne}-\text{H}_2$ . Использование бинарных смесей с небольшой относительной концентрацией водорода ( $\sim 0.3\%$ ) при электроразрядном способе возбуждения позволит существенно увеличить долю энерговклада, идущую на образование ионов  $\text{Ne}^+$  и, следовательно, увеличить к.п.д. лазера.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tanaka Y., Yoshino K., Freeman D.E. Emission Spectra of Heteronuclear Diatomic Rare Gas Positive Ions. // J. Chem. Phys. 1975. V. 62. P. 4484.
2. Радциг А.А., Смирнов Б.М. Справочник. М.: Атомиздат, 1980.
3. Вирин А.А., Джагацянцян Р.В., Карачевцев Г.В. и др. Ионно-молекулярные реакции в газах. М.: Наука, 1979.
4. Кондратьев В.Н., Никитин Е.Е. Кинетика и механизм газофазных реакций. М.: Наука, 1975.

УДК 620.179.16

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В ШТАМПОВЫХ СТАЛЯХ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

© 2001 г. Н. А. Семашко\*, Е. В. Лановенко\*, В. В. Лановенко\*,  
В. В. Рошупкин\*\*, Б. Н. Марьин\*\*\*

\*Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет

\*\*Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва

\*\*\*Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение им. Ю.А. Гагарина

Поступило в редакцию 21.12.2000 г.

В настоящей работе на модернизированной установке ИМАШ-АЛА-ТОО-75 ультразвуковым импульсным методом по оригинальной методике [1] исследовались образцы штамповых сталей 3Х2В8Ф и 4Х4ВМФС, предварительно деформированные протяжкой из прутка диаметром 20 мм до 2 мм и затем подвергнутые полному отжигу. Отжиг состоял в нагреве до температуры немного выше точки  $A_{c3}$  ( $900^\circ\text{C}$ ), выдержке в течение 1 ч при температуре нагрева и последующем медленном охлаждении вместе с печью. На рис. 1, 2 представлены температурные зависимости скорости звука  $c(t)$  для сталей

обеих марок. Широкий диапазон изменения скорости звука  $c$  в стали 3Х2В8Ф, вероятно, обусловлен легированием этой марки вольфрамом, который придает сплаву высокую пластичность.

У стали 4Х4ВМФС в области температуры  $620^\circ\text{C}$  при нагреве наблюдается перегиб в характере кривой и резкое снижение  $c$ . Это можно объяснить прохождением температур, соответствующих магнитному превращению в стали и фазовому превращению вблизи  $A_{c1} - 830^\circ\text{C}$ . Легирование стали 4Х4ВМФС никелем должно способство-