Письма в ЖЭТФ, том 13, стр. 517 – 519 *5 мая 1971 г.*

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ТВЕРДОМ ТЕЛЕ С ПОМОЩЬЮ СИЛЬНОТОЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА

О. В. Богданкевич, А. А. Рухадзе

Проблема получения новых метериалов при фазовых переходах часто упирается в необходимость создания статического, либо динамического давления порядка $10^5 \div 10^6$ *бар*. Для создания столь высоких динамических давлений в твердом теле может быть использован сильноточный релятивистский электронный пучок. Фокусируя такой пучок в небольшом объеме на некоторой глубине от поверхности твердого тела, а параметры пучка и вещества мишени подбирая таким образом, чтобы в результате многократной ионизации образовывалось большое число свободных электронов, можно получить состояние, при котором концентрация электронов будет на порядок выше, чем в металлах, т. е. $N_e \approx (1 \div 3)\cdot 10^{23}$ *см*$^{-3}$. Энергия Ферми в этом случае будет порядка $\mathcal{E}_F \approx 0{,}5\cdot 10^{-26}\, N_e^{2/3} \approx 10 - 30$ *эв*. Если при этом в качестве мишени выбрать вещество с легко ионизируемыми атомами с близко расположенными уровнями ионизации (например, типа редкоземельных элементов, или актинидов, у которых первый потенциал ионизации ~ 5 *эв*, а последующие пять – шесть уровней образуют интервалы $5 - 10$ *эв*), то температура электронного газа может оказаться меньше энергии Ферми и газ будет вырожден. Для этого, очевидно, необходимо выполнение условия $T_e \lesssim (\bar{I} - \mathcal{E}_F) < \mathcal{E}_F$, где $\bar{I}$ – средний потенциал ионизации вещества, приходящийся на один электрон. Давление в таком вырожденном электронном газе будет порядка $p \approx 2\cdot 10^{-27}\, N_e^{5/3} \approx (0{,}5 - 3)$ *Мбар*.

Оценим параметры пучка, необходимые для достижения давления 1 *Мбар*. Такое давление обеспечивается концентрацией электронов $N_e \approx 1{,}5 \cdot 10^{23}$ *см*$^{-3}$, что соответствует примерно пятикратной ионизации атомов мишени. Средний потенциал ионизации на электрон в легко ионизируемых веществах при этом порядка $25 \div 30$ *эв*, энергия Ферми $\mathcal{E}_F \approx 15$ *эв*, т. е. $T_e \leqslant 10 \div 15$ *эв*, а следовательно, электронный газ будет вырожден.

Для полной пятикратной ионизации объема с линейным размером a необходима энергия $\approx 4 \cdot 10^5 a^3$ *дж*. Очевидно, что размер a должен быть, с одной стороны, порядка длины пробега электронов пучка, которая при энергии электронов $\sim 3 \div 5$ *Мэв* составляет несколько миллиметров, а с другой, $a \ll V_F \tau_0$, где τ_0 – длительность импульса пучка. Последнее неравенство обеспечивает отсутствие накопления в объеме избыточных электронов, создающих пространственный заряд. Мы будем пользоваться в оценках значением энергии $\mathcal{E} \sim 5$ *Мэв* и линейным размером $a \approx 0{,}5$ *см*. Необходимая полная энергия пучка при этом составляет 50 *кдж*. Каждый электрон пучка при этом создает в объеме $1{,}5 \cdot 10^5$ электронов ионизации и если учесть, что полное число электронов пучка за импульс $n \sim 10^{17}$, то в результате ионизации в объеме a^3 получим $1{,}5 \cdot 10^{22}$ электронов, что соответствует концентрации $N_e \approx 1{,}5 \cdot 10^{23}$ *см*$^{-3}$, необходимой для создания давления $p \approx 1$ *Мбар*.

В свою очередь, время импульса τ_0 ограничено сверху. Легко понять, что τ_0 должно удовлетворять условию $\tau_0 < a / v_0$, где v_0 – скорость ионов, увлекаемых давлением электронного газа, $v_0 \approx 3 \cdot 10^5$ *см/сек*. Для принятых выше параметров мишени и пучка $3 \cdot 10^{-9}$ *сек* $\ll \tau_0 < 2 \cdot 10^{-6}$ *сек*. Если принять $\tau_0 \approx 10^{-6}$ *сек*, то для мощности пучка получим $W \approx 5 \cdot 10^{10}$ *вт*, а для тока в электронном пучке $I \approx 10$ *ка*.

Давление электронов в таких условиях будет воздействовать на окружающий мишень слой с толщиной $\approx 0{,}3$ *см*.

Наконец отметим, что росселандов пробег равновесных квантов в рассматриваемом нами объеме даже при $T \sim 15$ *эв* соответствует $\ell = 10^{-6}$ *см*; пробег электронов с энергией 30 – 50 *эв* порядка 10^{-5} *см*. Поэтому эффективный процесс излучательной рекомбинации возможен на поверхности объема и в балансе ионизации атомов мишени электронным пучком не играет существенной роли; мощность излучения с поверхности мишени пренебрежимо мала по сравнению с мощностью электронного пучка. По этой же причине несущественны тройные рекомбинации, в результате которых образуются энергичные электроны, способные вновь ионизовать атомы вещества.

Одной из возможностей использования высокого давления, создаваемого в твердом теле электронным пучком, с нашей точки зрения, является получение металлического водорода. Согласно современным теоретическим представлениям [1], молекулярный водород при давлениях порядка $\sim 10^6$ бар переходит в новое фазовое состояние, которое может оказаться метастабильным и обладать сверхпроводящими свойствами. Дебаевская температура сверхпроводящего водорода по теоретическим оценкам составляет $\Theta \gtrsim 0{,}3 - 1$, а критическая температура $T_K \gtrsim 90$ °K. Благодаря этим параметрам получение сверхпроводящего водорода представляется заманчивой проб-

лемой. Очевидно, что при его получении в качестве рабочего вещества для создания высокого давления следует выбрать легко ионизируемый материал, который в виде небольшой гранулы помещается в жидкий водород вблизи его поверхности и на которую фокусируется электронный пучок. Если температура электронного газа при многократной ионизации атомов мишени электронным пучком составит малую долю средней энергии ионизации, то предложенный метод получения металлического водорода может оказаться перспективным. В условиях, когда ионизация атомов происходит в среде вырожденного электронного газа с энергией Ферми порядка 15 – 20 *эв*, образование такой низкотемпературной электронной плазмы нам представляется весьма вероятным. Для проверки этого предположения в настоящее время предпринимается попытка численного решения задачи определения средней тепловой энергии электронов, образованных в результате каскадной ионизации атомов электронным пучком.

В заключение авторы выражают благодарность С.Дарэнику за обсуждение.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 марта 1971 г.

Литература

[1] T.Schaider. Helv. Phys. Acta, 42, 957, 1969.