

характер бегущего волнового пакета нарастающей амплитуды и уходит из области своего зарождения. После прохода бегущего возмущения через элемент системы, от к-рого оно отбирает энергию, поле возмущений в этой области может с течением времени стремиться к нулю. Это т. н. конвективная (сносовая) неустойчивость. Если же возмущения нарастают с течением времени во всех точках пространства, то неустойчивость является абсолютной. Системы, в к-рых реализуется конвективная неустойчивость, служат основой для создания усилителей, а системы с абс. неустойчивостью являются генераторами. Существуют критерии определения характера неустойчивости в волновых системах. Однако во многих реальных системах разделение на абсолютную и конвективную неустойчивость невозможно. В частности, либо замыкая отрезок конвективно неустойчивой системы в кольцевую систему, либо включая внеш. обратную связь, получают систему с абс. неустойчивостью (см. *Автоволны, Волны, Нелинейные системы* и др.).

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 3 изд., М., 1981; Бутенин Н. В., Неймарк Ю. И., Фурфев Н. А., Введение в теорию нелинейных колебаний, 2 изд., М., 1987; Федорченко А. М., Кочаренко Н. Я., Абсолютная и конвективная неустойчивость в плазме и твердых телах, М., 1984; Рабинович М. И., Трубецкой Д. И., Введение в теорию колебаний и волн, М., 1984. А. Я. Васович, А. А. Новиков.

НИЗКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (криогенные температуры) — обычно темп-ры, лежащие ниже точки кипения жидкого воздуха (ок. 80 К). Согласно рекомендации, принятой 13-м конгрессом Международ. ин-та холода (1971), криогенными темп-рами следует называть темп-ры ниже 120 К.

Получение Н. т. Для получения и поддержания Н. т. обычно используют сжиженные газы (хладагенты). В сосуде Дьюара, содержащем сжиженный газ, испаряющийся под атм. давлением, достаточно хорошо поддерживается пост. темп-ра T_n кипения хладагента. Практически применяют след. хладагенты, воздух ($T_n \approx 80$ К), азот ($T_n = 77,4$ К), неон ($T_n = 27,1$ К), водород ($T_n = 20,4$ К), гелий ($T_n = 4,2$ К). Для получения жидких газов служат спец. установки — ожижители, в к-рых сильно сжатый газ при расширении до обычного давления охлаждается и конденсируется (см. *Джоуль-Томсона эффект*).

Откачивая испаряющийся газ из герметизир. сосуда, можно уменьшать давление над жидкостью и тем самым понижать темп-ру её кипения. Естеств. или принудит. конвекция и хорошая теплопроводность хладагента обеспечивают при этом однородность темп-ры во всём объёме жидкости. Таким путём удаётся перекрыть широкий диапазон темп-р: от 77 до 63 К при помощи жидкого азота, от 27 до 24 К — жидкого неона, от 20 до 14 К — жидкого водорода, от 4,2 до 1 К — жидкого гелия. Методом откачки нельзя получить темп-ру ниже *тройной точки* хладагента. При более низких темп-рах вещество затвердевает и теряет свои качества хладагента. Промежуточные темп-ры, лежащие между указанными выше интервалами, достигаются спец. методами. Охлаждаемый объект теплоизолируют от хладагента, помещая его, напр., внутрь вакуумной камеры, погружённой в сжиженный газ. При небольшом контролируемом выделении теплоты в камере (в ней имеется электрич. нагреватель) темп-ра исследуемого объекта повышается по сравнению с темп-рой кипения хладагента и может поддерживаться с высокой стабильностью на требуемом уровне. В др. способе получения промежуточных темп-р охлаждаемый образец помещают над поверхностью испаряющегося хладагента и регулируют скорость испарения жидкости нагревателем. Отвод теплоты от исследуемого объекта здесь осуществляет поток испаряющегося газа. Применяется также метод охлаждения, при к-ром холодный газ, получаемый при испарении хладагента, прогоняется через теплообменник, находящийся в тепловом контакте с охлаждаемым объектом.

Гелий при атм. давлении остаётся жидким вплоть до абс. нуля темп-ры (см. *Гелий жидкий*). Однако при откачке паров жидкого ^4He (природного изотопа гелия) обычно не удаётся получить темп-ру существенно ниже 1 К, даже применяя очень мощные насосы (этому мешают чрезвычайно малая упругость насыщ. паров ^4He и его сверхтекучесть). Откачкой паров изотопа ^3He ($T_n = 3,2$ К) удаётся достичь темп-р $\sim 0,3$ К. Область темп-р ниже 0,3 К наз. сверхнизкими темп-рами. Методом адиабатич. размагничивания парамагн. солей (см. *Магнитное охлаждение*) удаётся достичь темп-р $\sim 10^{-3}$ К. Тем же методом с использованием ядерного парамагнетизма в системе атомных ядер были достигнуты темп-ры $\sim 10^{-6}$ К. Принципиальную проблему в методе адиабатич. размагничивания (как, впрочем, и в др. методах получения Н. т.) составляет осуществление хорошего теплового контакта между объектом, к-рый охлаждают, и охлаждающей системой. Особенно это трудно достигнимо в случае системы атомных ядер. Совокупность ядер атомов можно охладить до сверхнизких темп-р, но добиться такой же степени охлаждения вещества, содержащего эти ядра, не удаётся.

Для получения темп-р порядка неск. мК широко используются более удобным методом — растворением жидкого ^3He в жидком ^4He . Применяют для этой цели рефрижераторы растворения (см. *Криостат*). Их действие основано на том, что ^3He сохраняет конечную растворимость (ок. 6%) в жидком ^4He вплоть до абс. нуля темп-ры. Поэтому при соприкосновении почти чистого жидкого ^3He с разбавленным раствором ^3He в ^4He атомы ^3He переходят в раствор. При этом поглощается теплота растворения и темп-ра раствора понижается. Растворение осуществляется в одном месте прибора (в камере растворения), а удаление атомов ^3He из раствора путём откачки — в другом (в камере испарения). При непрерывной циркуляции ^3He , осуществляемой системой насосов и теплообменников, можно поддерживать в камере растворения темп-ру 10—30 мК неограниченно долго. Гелий ^3He можно охладить ещё сильнее, используя *Померанчука эффект*. Жидкий ^3He затвердевает при давлении более $3 \cdot 10^6$ Па. В области темп-р ниже 0,3 К увеличение давления (в пределе до $3,4 \cdot 10^6$ Па) сопровождается поглощением теплоты и понижением темп-ры равновесной смеси жидкой и твёрдой фаз (затвердевание идёт с поглощением теплоты). Этим методом были достигнуты темп-ры $\sim 1-2$ мК.

Измерение Н. т. Первичным прибором для измерения термодинамич. темп-ры вплоть до 1 К служит газовый термометр. Др. вариантами первичного термометра являются акустич. и шумовой термометры, действие к-рых основано на связи термодинамич. темп-ры соответственно со значением скорости звука в газе и с интенсивностью тепловых флуктуаций напряжения в электрич. цепи. Первичные прецизионные термометры используют в осн. для определения темп-р легко воспроизводимых фазовых равновесий в однокомпонентных системах (т. н. реперных точек), к-рые служат опорными температурными точками *Международной практической температурной шкалы* (МПТШ-68).

Для измерения темп-ры от 630,74 °С до 13,81 К по МПТШ-68 с точностью $\sim 0,001$ К служит платиновый термометр сопротивления. МПТШ-68 пока не продлена ниже 13,8 К ввиду отсутствия в этой области Н. т. вторичного термометра, не уступающего по чувствительности, точности и воспроизводимости показаний платиновому термометру сопротивления при более высоких темп-рах. В диапазоне 0,3—5,2 К низкотемпературная *термометрия* основана на зависимости давления насыщ. паров p_s гелия от темп-ры, устанавливаемой газовым термометром. Эта зависимость была принята в качестве междунар. температурной шкалы в области 1,5—5,2 К (шкала ^4He , 1958) и 0,3—3,3 К (шкала ^3He , 1962). Зависимость $p_s(T)$ в этих температурных диапазонах не может быть представлена простой аналитич. ф-лой и поэтому табулируется; табличные данные обеспечи-