

нием твёрдой фазы. Практически кристаллизация ${}^3\text{He}$ позволяет получить $T \sim 1 \text{ мК}$, если ${}^3\text{He}$ был предварительно охлаждён до $10\text{--}30 \text{ мК}$. Принципиальная схема кристаллизационного К. показана на рис. 3. Камера с подвижными стенками, заполненная ${}^3\text{He}$, соединена хладопроводом с рефрижератором, обеспечивающим предварит. охлаждение (обычно К. раствора ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$). На хладопроводе имеется тепловой ключ, служащий для размыкания теплового контакта между рефрижератором и компрессионной камерой. Давление ${}^3\text{He}$ в компрессионной камере поднимают через систему (ли-

более низких стартовых темп-рах и применении мощных сверхпроводящих соленоидов удаётся использовать эффект адиабатич. размагничивания ядерных спиновых систем.

К. размагничивания могут включаться последовательно. Так, в двухступенчатых К. размагничивания, когда первая массивная ступень из меди либо из PrNi_5 при размагничивании охлаждает вторую медную ступень, после размагничивания последней удаётся получить темп-ру ядер меди $\sim 10 \text{ нК}$. При этом темп-ра кристаллич. решётки меди и электронов проводимости составляет $\sim 10 \text{ мК}$.

На рис. 4 показана принципиальная схема К. ядерного размагничивания меди (ИФП АН СССР). Ядерная ступень, помещённая в поле $\approx 80 \text{ кЭ}$, охлаждается мощным К. раствором до $T \approx 10 \text{ мК}$. Затем размыкается сверхпроводящий тепловой ключ и осуществляется размагничивание (в течение 2—10 ч). За это время в системе успевает установиться тепловое равновесие и охладиться экспериментальная камера. Т. о. удаётся охладить камеру, содержащую сверхтекучий ${}^3\text{He}$, до $T \sim 100 \text{ мК}$.

Лит.: Справочник по физико-техническим основам криогеники, под ред. М. П. Малкова, 3 изд., М., 1985; Растворы жидкостей, М., 1973; Лоунасама О. В., Принципы и методы получения температуры ниже 1 К , пер. с англ., М., 1977. Ю. М. Бушков.

КРИОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ — электронные устройства, в к-рых используются явления и процессы, протекающие при низких темп-рах (условно $T < 100 \text{ К}$). Большинство совр. К. п. основано на явлении *сверхпроводимости*, в частности на *Джозефсона эффекте*, а также на особенностях одноэлектронного («квантичного») туннелирования между сверхпроводниками. По назначению К. п. можно разделить на спец. групп: приборы *квантовой метрологии*; низкочастотные измерит. приборы (*скивиды*) для измерения магн. полей; пассивные СВЧ-устройства, в т. ч. сверхпроводниковые объёмные резонаторы и остронаправленные антенны; приёмные СВЧ-устройства, в т. ч. *параметрические усилители*, смесители, видеодетекторы и болометры (см. *Сверхпроводниковые приёмники излучения*); сверхпроводниковые цифровые и импульсные устройства, в т. ч. ячейки логики и памяти ЭВМ, аналоговые преобразователи, стробоскопич. преобразователи сигналов и др.

Лит.: Криоэлектроника, «Зарубежная радиоэлектроника», 1983, № 6 (спецвыпуск); Ван Дузер Т., Тернер Ч., Физические основы сверхпроводниковых устройств и цепей, пер. с англ., М., 1984. К. К. Лихарев.

КРИПТОМАГНЕТИЗМ — см. *Магнитные сверхпроводники*.

КРИПТОН (Krypton), Kr, — хим. элемент VIII группы периодич. системы элементов, инертный газ, ат. номер 36, ат. масса 83,80. Природный К. состоит из 6 стабильных изотопов: ${}^{78}\text{Kr}$, ${}^{80}\text{Kr}$, ${}^{82}\text{Kr}$, ${}^{83}\text{Kr}$, ${}^{84}\text{Kr}$ и ${}^{86}\text{Kr}$, среди них наиб. распространён ${}^{84}\text{Kr}$ (57,0%), наименее — ${}^{78}\text{Kr}$ (0,35%). Электронная конфигурация внеш. оболочек $4s^2 3p^6$. Радиус атома К. 0,198 нм. Энергии последоват. ионизации 13,999; 24,4; 36,4; 52,5; 64,7 эВ. При 0°С и нормальном давлении плотности К. $3,745 \text{ кг/м}^3$, $t_{пл} = -157,37^\circ \text{С}$, $t_{кип} = -153,22^\circ \text{С}$. Плотн. жидкого К. $2,155 \text{ кг/дм}^3$ (при $t_{кип}$), теплота испарения $9,035 \text{ кДж/моль}$. Твёрдый К. обладает кубич. кристаллич. решёткой с постоянной решёткой $a = 0,5706 \text{ нм}$ (при -184°С). Критич. темп-ра $-63,8^\circ \text{С}$, критич. давление $5,48 \text{ МПа}$, критич. плотн. $0,909 \text{ кг/дм}^3$. Тройная точка: $t = 115,95 \text{ К}$, давление $73,2 \text{ кПа}$, плотн. твёрдой фазы $2,821 \text{ кг/дм}^3$, жидкой — $2,451 \text{ кг/дм}^3$. При 25°С в 1 л воды растворяется 60 мл К. Хим. активность К. крайне низкая, непосредственно реагирует только со фтором.

К. применяют для заполнения ламп накаливания, тиратронов, люминесцентных трубок. Большие кол-ва β -радиоактивного ${}^{85}\text{Kr}$ ($T_{1/2} = 10,72 \text{ года}$) образуются

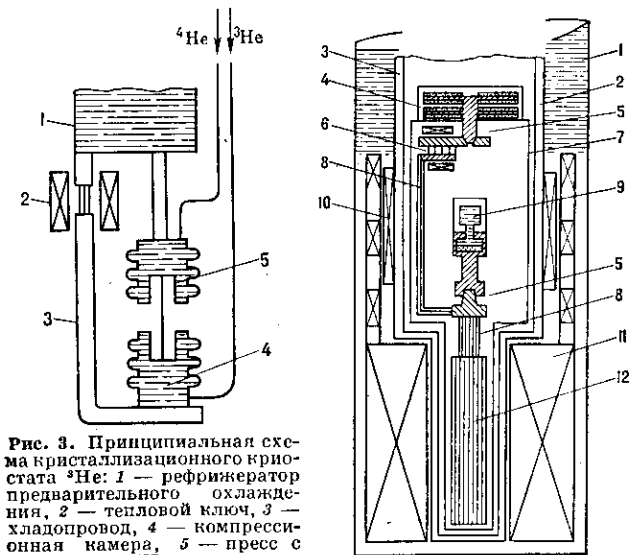


Рис. 3. Принципиальная схема кристаллизационного криостата ${}^3\text{He}$: 1 — рефрижератор предварительного охлаждения, 2 — тепловой ключ, 3 — хладопровод, 4 — компрессионная камера, 5 — пресс с ${}^4\text{He}$.

Рис. 4. Принципиальная схема криостата ядерного размагничивания меди (ИФП АН СССР): 1 — ванна с гелием, 2 — вакуумная камера, 3, 7 — тепловой экран, 4 — камера раствора ${}^3\text{He}$ в ${}^4\text{He}$, 5 — конические тепловые контакты, 6 — сверхпроводящий тепловой ключ, 8 — хладопровод, 9 — экспериментальная камера, 10 — экспериментальный соленоид, 11 — основной сверхпроводящий соленоид, 12 — ступень ядерного размагничивания.

нию) заливки ${}^3\text{He}$ до $2,93 \cdot 10^6 \text{ Па}$ (29,3 бар), что соответствует минимуму на кривой плавления ${}^3\text{He}$. Дальнейшее сжатие ${}^3\text{He}$ через систему заливки невозможно, т. к. в последней образуется пробка твёрдого ${}^3\text{He}$ в области, соответствующей темп-ре 300 мК. Дальнейшее повышение давления в компрессионной камере обычно осуществляется прессом, заполненным ${}^4\text{He}$. Кристаллизационный К. применяют для исследований низкотемпературных свойств жидкого и твёрдого ${}^3\text{He}$.

Криостаты адиабатич. размагничивания основаны на использовании магнитокалорического эффекта, заключающегося в изменении темп-ры T магн. вещества при адиабатич. изменении напряжённости магн. поля H . Для К. используют обычно парамагнитные спиновые системы, адиабатич. размагничивание к-рых приводит к понижению T . Процесс понижения темп-ры при адиабатич. размагничивании ограничивается областью T , при к-рой спиновая система переходит в магнитоупорядоченное состояние. С др. стороны, для макс. хладопроизводительности метода желательно иметь стартовые условия вблизи темп-рой аномалии теплоёмкости системы, возникающей при равенстве тепловой и магн. энергий. Эти два требования определяют выбор хладагентов для К. адиабатич. размагничивания. В области стартовых темп-р $1000\text{--}100 \text{ мК}$ используются парамагн. соли (напр., церий-магний нитрат позволяет получить темп-ру до 2 мК). В области стартовых темп-р $100\text{--}10 \text{ мК}$ применяются ванфлековские парамагнетики, эффективный магн. момент к-рых варьируется в широком диапазоне — от электронного до ядерного. Используя PrNi_5 , удаётся получить темп-ру до 0,5 мК. При