

Связь Э. времени и частоты с Э. метра осуществляется посредством транспортируемого лазера и при помощи радиооптич. частотного моста (РОЧМ) (рис. 2). На вход РОЧМ подаётся эталонная частота 5 МГц от генератора, синхронизированного и стабилизированного по водородным хранителям и цезиевым реперам. Гармоники этой частоты стабилизируют и частоты вспомогат. клистронов $K_1—K_4$. Подавая на смесительно-умножительные диоды разл. комбинации частот (указанные на схеме) и используя системы фазовой стабилизации и автоподстройки частоты, добиваются достаточно точного совпадения с частотами стабилизированных лазеров. Остающуюся разность частот определяют с помощью анализаторов спектра и, т. о., измеряют значение частот этих лазеров с погрешностью до единиц кГц.

4. Эталон единицы силы электрического тока — ампера. Шкала силы электрич. токов — аддитивная шкала отношений. Определение ампера менялось дважды. По определению 1893, относящемуся к системе междунар. практич. электрич. единиц, междунар. ампер — неизменяющийся ток, к-рый, проходя через водный раствор азотнокислого серебра, при соблюдении спецификации выделяет 0,0011180 г серебра в 1 с. Э. ампера — серебряные voltaметры — создавались децентрализованно, по определению и воспроизведению ампер не был независимой единицей, т. к. определялся через грамм и секунду.

В 1948 при создании МКСА (см. Система единиц) вместо междунар. практич. электрич. единиц были введены абс. практич. электрич. единицы: при этом размер ампера и др. электрич. единиц изменился. Междунар. ампер, определённый в 1893, стал равен 0,99985 абс. ампера. Абс. практич. электрич. единицы вошли в СИ. Определение ампера в СИ — сила неизменяющегося тока, к-рый при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, вызывал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н. Это определение связало ампер уже с тремя осн. единицами — метром, килограммом и секундой, оно не может быть воплощено в к.-л. техн. устройстве. Поэтому в большинстве стран в качестве Э. ампера использовались (и частично используются) установки, реализующие ампер путём измерения либо силы (ампер-весы разл. конструкций), либо момента сил, действующих на катушку с током, помещённую в магн. поле др. катушки. Модельные расчёты такого рода устройств содержат неопределённости в реализации междунар. определения. Отсутствие единой пригодной для реализации междунар. спецификации для этих устройств сделало необходимыми междунар. сличения и принятие для единицы ампера нек-рого ср. значения, т. е. введение централизованной СОЕИ. Т. к. эталонные меры силы тока отсутствуют, сличаются меры электрич. сопротивления, прокалиброванные на национальном Э. ампера — ампер-весах.

Разл. модификации ампер-весов конструктивно похожи. Все они выполняются из немагнитных материалов. К одной чашке весов подвешивается подвижная катушка, коаксиальная с неподвижной, большего диаметра. На другой чашке находится уравновешивающий груз. Обмотки катушек в простейшем случае соединяются последовательно. Отличия сводятся к размерам катушек, числам витков, иногда к схеме подключения (со ср. точкой обмотки неподвижной катушки или без неё). При прохождении через них электрич. тока подвижная катушка втягивается в неподвижную или выталкивается из неё, и для восстановления равновесия нужно изменить массу уравновешивающего груза. Значение силы электрич. тока определяется выраже-

нием $I = \sqrt{mg / \frac{\partial M}{\partial x}}$, где m — масса уравновешивающего груза; g — ускорение силы тяжести; M — взаимоиנדуктивность; x — взаимное смещение катушек.

В процессе исследования все величины правой части определяются возможно точнее. Поэтому можно рассчи-

тать значение m , соответствующее, напр., силе электрич. тока в 1 А, а включив в цепь катушек эталонный резистор, можно откалибровать эталонные меры ЭДС.

Из приведённого описания ампер-весов следует, что если через катушки пропустить электрич. ток, сила к-рого определена с высокой степенью точности независимым методом, то можно рассчитать значение m , т. е. прокалибровать меру массы, не обращаясь к эталону килограмма. Такой путь создания эталона массы, связанного с ФФК и другими единицами, весьма привлекателен, однако пока не удалось достичь требуемой точности. Разрабатываются квантовые Э. ампера, основанные на измерении магн. индукции методом ЯМР.

В 1992 утверждён национальный Э. ампера России, размер к-рого определяется с использованием квантовых Э. вольта и ома (см. Квантовая метрология), основанных на Джозефсона эффекте и квантовом Холла эффекте. Он воспроизводит нек-рые интервалы шкалы силы постоянных токов. В результате погрешности Э. ампера снизились на два порядка.

5. Эталон единицы термодинамической температуры — кельвина. Шкала термодинамич. темп-ры — пропорциональная шкала отношений. До введения термодинамич. шкалы темп-р применялись интервальные температурные шкалы (Фаренгейта, Реомюра, Цельсия), реализуемые с помощью жидкостных термометров. Их недостаток — нелинейное отклонение шкалы от термодинамической, обусловленное свойствами рабочих веществ. По предложению лорда Кельвина в 1848 размер единицы термодинамич. темп-ры был определён как $1/100$ интервала темп-р между точками плавления льда и кипения воды. Эта единица позднее получила назв. «градус Кельвина» (°К). В 1954 X Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) определила единицу термодинамич. темп-ры — градус Кельвина как $1/273,16$ термодинамич. темп-ры тройной точки воды. С 1967 единица термодинамич. темп-ры наз. кельвин (К).

Воспроизведение шкалы термодинамич. темп-ры по междунар. соглашением регламентировано спецификациями, называемыми междунар. практическими температурными шкалами (см. Температурная шкала). На практике применялись последовательно (по годам принятия, начиная с 1948) МПТШ-48, МПТШ-68, предварительная шкала ПТШ-76 на диапазон 0,5 ÷ 27 К, далее переходящая в МПТШ-68.

Шкала МТШ-90 распространяется на любые темп-ры выше 0,65 К, она приближена к термодинамической с отклонениями, не превышающими 1 ÷ 3 мК. В криогенной области она опирается на значения термодинамич. темп-р тройных точек водорода, неона, кислорода, аргона, ртути и основную — тройную точку воды. При темп-рах выше 273,16 К МТШ-90 опирается ещё на ряд реперных точек в диапазоне до 1358,15 К (1085 °С).

Государственные первичные Э. России воспроизводят МТШ-90 в двух поддиапазонах: 0,8—273,16 К и 273,16—2773 К. Осн. часть низкотемпературного Э. составляют две группы железо-родиевых и платиновых термометров сопротивления. Каждая из них содержит 2 платиновых и 2 железо-родиевых термометра, постоянно помещённых в блок сравнения — массивный цилиндр с четырьмя продольными каналами для термометров, что существенно повышает их долговрем. стабильность. Градуировочные зависимости термометров определены по результатам междунар. сличений результатов, полученных национальными термометрич. лабораториями России, Великобритании, США, Австралии и Нидерландов; т. о. осуществлён централизованный вариант СОЕИ. В набор контрольной аппаратуры, помимо устройств для точных измерений сопротивления и давлений, входит комплект установок для реализации темп-р реперных точек, газовый интерполяц. термометр и криостат сравнения.

Контрольная аппаратура позволяет в случае крайней необходимости произвести полную градуировку термометров Э., т. е. возможен переход от централизованной к децентрализованной СОЕИ.