

вом. В регистрирующее устройство помимо информации о кол-ве ионов (ионный ток) поступает информация о массе ионов. М.-с. содержит также питающие и измерит. устройства, а также вакуумную систему, создающую, поддерживающую и контролирующую достаточно глубокий вакуум ( $10^{-3}$ — $10^{-7}$  Па) в источнике ионов, камере масс-анализатора и приёмнике ионов. ЭВМ контролирует режим работы всего прибора, а также осуществляет сбор и обработку получаемых данных.

**Основные параметры.** Регистрируемый с помощью М.-с. масс-спектр представляет собой зависимость ионного тока  $I$  от массы  $m$  (точнее, от  $m/e$ ). Напр., в масс-спектре Hg каждый из пиков ионного тока соответствует однозарядным ионам изотопов ртути (рис. 2). Высота пика пропорциональна содержанию данного изотопа. Отношение массы иона к ширине пика  $\delta m$  (в а. е. м.) наз. разрешающей способностью ( $R$ ) М.-с.:  $R = m/\delta m$ . Т. к.  $\delta m$  на разных уровнях интенсивности ионного тока различна, то  $R$  также различна. В приведённом примере в области изотопа  $^{202}\text{Hg}$  на уровне 10% относительно вершины пика  $R = 940$ , на полувысоте  $R = 1600$ . Для полной характеристики разрешающей способности прибора необходимо знать форму ионного пика, к-рая зависит от мн. факторов. Иногда разрешающей способностью наз. значение той наиб. массы, при к-рой два пика, отличающихся по массе на единицу, разрешаются до заданного уровня. Для тех М.-с., у к-рых  $R$  не зависит от отношения  $m/e$ , оба приведённых определения совпадают. Считается, что М.-с. с  $R \leq 10^2$  имеет низкую разрешающую способность, с  $R \sim 10^2$ — $10^3$  — среднюю, с  $R \sim 10^3$ — $10^4$  — высокую, с  $R \sim 10^5$  — очень высокую.

Если вещество вводится в ионный источник в виде газа, то чувствительностью М.-с. наз. отношение тока, создаваемого ионами данной массы заданного вещества, к парциальному давлению этого вещества в источнике. Эта величина в М.-с. разных типов лежит в диа-

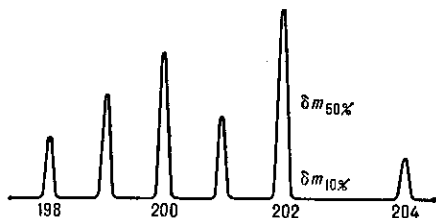


Рис. 2. Масс-спектр Hg;  $\delta m_{50\%}$  — ширина пика на полувысоте,  $\delta m_{10\%}$  — на уровне 10% от максимальной интенсивности.

пазоне  $10^{-4}$ — $10^{-1}$  А/Па. Относит. чувствительностью называют мин. содержание вещества в смеси веществ, к-рое ещё может быть обнаружено с помощью М.-с. Для разных М.-с. и разл. веществ она лежит в диапазоне  $10^{-3}$ — $10^{-7}\%$ . За абс. чувствительность иногда принимают мин. кол-во вещества (в г), к-рое необходимо ввести в М.-с. для обнаружения этого вещества. Она также зависит от типа М.-с. и может достигать  $10^{-15}$  г.

Наряду с разрешающей способностью и чувствительностью важными характеристиками М.-с. являются диапазон масс и быстродействие. Диапазон масс у приборов для анализа органич. веществ превышает  $10^4$  а. е. м. (см. Масс-спектроскопия). Быстродействие, под к-рым принято подразумевать мин. время, необходимое для регистрации масс-спектра в пределах т. н. декады а. е. м. (1 — 10, 10 — 100 и т. д.) без потери информации, составляет 0,1—0,5 с для статич. приборов и  $10^{-3}$  с для время-пролётных (динамических; см. ниже).

**Система ввода вещества. Ионный источник.** Образец вводится в М.-с. с помощью т. н. молекулярных или вязкостных натекаателей, устройств шлюзования с по-

следующим вводом твёрдого или жидкого образца в источник ионов, ячейку Кнудсена и т. д.

В М.-с. используются разл. способы ионизации: 1) ионизация электронным ударом (см. Электронно-ионная эмиссия); 2) фотоионизация; 3) ионизация за счёт ионно-молекулярных реакций (хим. ионизация); 4) ионизация в сильном электрич. поле (полевая ионная эмиссия); 5) ионизация ионным ударом (ионно-ионная эмиссия, см. также Ионная бомбардировка); 6) ионизация быстрыми атомами (атомно-ионная эмиссия); 7) поверхностная ионизация; 8) искровой разряд (вакуумная искра); 9) десорбция ионов под действием лазерного излучения, электронных пучков, продуктов деления тяжёлых ядер (напр.,  $^{252}\text{Cf}$ ); 10) плазменные источники. Наиб. часто применяются: способы 1, 2 и 3 — при анализе газов и легко испаряемых веществ; 4 — для ионизации газов и органич. соединений, наносимых на поверхность электрода (десорбция полем); 5 — для анализа состава поверхности твёрдых тел; 6 и 9 — для анализа термостабильных сложных органич. веществ; 7 — для изотопного анализа элементов с низкой энергией ионизации; 8 и 10 для анализа микропримесей в твёрдом и жидком веществах. Если анализируют ионную составляющую газа (плазма, ионосфера, пламена), источник ионов выполняет лишь функцию фокусировки ионов и формирования ионного пучка (см. также Ионный источник).

**Масс-анализаторы.** По типу анализаторов различают статич. и динамич. М.-с. В статич. масс-анализаторах для разделения ионов используются электрич. и магн. поля, постоянные или практически не изменяющиеся за время пролёта иона через прибор. Ионы с разл. значениями  $m/e$  движутся в анализаторе по разл. траекториям (см. Электронная и ионная оптика).

В масс-спектрографах, отличающихся от М.-с. фотогр. регистрацией масс-спектра, пучки

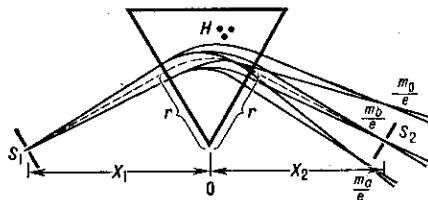


Рис. 3. Схема статического масс-спектрометра с однородным магнитным полем;  $S_1$ ,  $S_2$  — щели ионного источника и приёмника ионов; треугольник — область однородного магнитного поля  $H$ , перпендикулярного плоскости рисунка; тонкие сплошные линии — границы пучков ионов с разными  $m/e$ ;  $r$  — радиус центральной траектории ионов.

ионов с разными  $m/e$  фокусируются в разных местах фотопластинки, расположенной в фокальной плоскости прибора, образуя после проявления следы в виде полосок (выходное отверстие ионного источника обычно имеет форму прямоугольника — щели). В статич. масс-спектрометре пучок ионов с заданным  $m/e$  фокусируется на щель приёмника ионов. При плавном изменении магн. или электрич. поля в приёмную щель последовательно попадают пучки ионов с разными  $m/e$ . При непрерывной записи ионного тока получается график с ионными пиками масс-спектра (рис. 2); фотопластинка, используемая в масс-спектрографе, после проявления фотометрируется.

В статич. М.-с. с однородным магн. полем  $H$  (рис. 3) ионы, образованные в источнике, выходят из щели шириной  $S_1$  в виде расходящегося пучка, к-рый в магн. поле разделяется на пучки ионов с разными  $m/e$  ( $m_a/e$ ,  $m_b/e$ ,  $m_c/e$ ). Пучок ионов с массой  $m_b$  фокусируется на щель шириной  $S_2$  приёмника ионов. Величина  $m_b/e$  определяется выражением

$$m_b/e = 4,824 \cdot 10^{-5} H^2 r^2 / V,$$