

для описания перехода частиц 1, 2 в частицы 3, 4 в-
сти инвариантные переменные

$$s = (p_1 + p_2)^2, \quad t = (p_1 - p_3)^2, \quad u = (p_1 - p_4)^2,$$

причём s, t, u связаны соотношением

$$s + t + u = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2$$

и являются квадратами полной энергии в каналах, где в качестве начальных выступают соответственно частицы 1 и 2, 1 и 3, 1 и 4, то т. н. двойное С. п. Манделстама приобретает вид:

$$M_{22} = F(s, u, t) = \frac{1}{\pi^2} \int_{s_0}^{\infty} ds' \int_{t_0}^{\infty} dt' \frac{\rho_1(s', t')}{(s' - s - i\epsilon)(t' - t - i\epsilon)} + \\ + \frac{1}{\pi^2} \int_{t_0}^{\infty} dt' \int_{u_0}^{\infty} du' \frac{\rho_2(t', u')}{(t' - t - i\epsilon)(u' - u - i\epsilon)} + \\ + \frac{1}{\pi^2} \int_{u_0}^{\infty} du' \int_{s_0}^{\infty} ds' \frac{\rho_3(u', s')}{(u' - u - i\epsilon)(s' - s - i\epsilon)}$$

Интегрирование здесь ведётся от физ. порогов — квадрата суммы масс нижнего промежуточного состояния в соответствующих каналах. Такое С. п. обнаруживает перекрёстную симметрию в самом виде записи. Для описания амплитуд всех трёх каналов применяется одна функция $F(s, t, u)$, в частности одни и те же определяющие её спектральные плотности ρ_k . Переход, напр., от амплитуды s -канала к амплитуде t -канала осуществляется заменой s на t , а t на s . Это соответствует тому, что частица 2 заменена на античастицу 3, а частица 3 на античастицу 2 в самом процессе. С. п. Манделстама послужило основой мн. исследований процессов *сильных взаимодействий*.

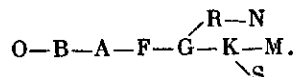
Лит.: Новый метод в теории сильных взаимодействий. Сб. статей, пер. с англ., под ред. А. М. Бродского, М., 1960; Боглюбов Н. Н., Медведев В. В., Поливанов М. К., Вопросы теории дисперсионных соотношений, М., 1958; Бартон Г., Дисперсионные методы в теории поля, пер. с англ., М., 1968. В. П. Павлов.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ — характеристики звёзд, определяемые по особенностям их спектров. Различия в спектрах звёзд обусловлены различиями хим. состава и физ. условий в *звёздных атмосферах*. Для большинства звёзд в видимой области характерен непрерывный спектр, на к-рый накладываются линии поглощения, а в нек-рых случаях и эмиссионные линии. Спектральная классификация носит эмпирич. характер и сводится по существу к расположению спектров звёзд в последовательности, вдоль к-рых спектральные линии одних хим. элементов и соединений усилваются, а другие ослабевают. Эти последовательности в осн. отражают зависимость спектров от *эффективной температуры* звёзд. Сходные спектры объединяются в С. к., внутри к-рых, в свою очередь, выделяются подклассы. Спектральная классификация основывается на общих характеристиках спектра и на определении отношений интенсивностей фиксированных спектральных линий. Критерии классификации могут изменяться в зависимости от области спектра и разрешения спектров.

Качественно изменение характерных свойств спектров с ростом темп-ры звёзд может быть описано следующим образом. Для наиб. холодных звёзд характерны молекулярные полосы и линии нейтральных атомов. По мере возрастания темп-ры происходит диссоциация молекул и полосы вначале ослабевают, а затем исчезают. Одновременно происходит ослабление линий поглощения, возникающих при переходах с осн. уровней нейтральных атомов. Интенсивность линий, соответствующих переходам с возбуждённых уровней нейтральных атомов, с ростом темп-ры усиливается, достигает мак-

симума, а затем уменьшается из-за ионизации. Линии ионов также достигают максимума в определ. месте спектральной последовательности; его положение определяется темп-рой, при к-рой происходит следующая стадия ионизации. Положение максимумов интенсивности линий нейтральных и ионизов. атомов зависит от потенциала ионизации и потенциала возбуждения уровня, с к-рого происходит переход, создающий линию. Т. о., при продвижении вдоль спектральной последовательности от холодных звёзд к горячим происходит смена линий и максимумов интенсивности линий, соответствующая возрастанию потенциалов ионизации и возбуждения. При этом линейчатые спектры обедняются, т. к. линии высокоионизованных и трудноионизуемых атомов расположены в недоступной наземным наблюдениям далёкой УФ-области спектра ($\lambda < 3000 \text{ \AA}$)

История спектральной классификации звёзд восходит к И. Фраунгоферу (J. Fraunhofer), обнаружившему в нач. 19 в. различия в спектрах неск. исследованных им ярких звёзд. Первые попытки выработать систему классификации спектров были предприняты в сер. 19 в. Дж. Б. Донати (G. B. Donati) и А. Секки (A. Secchi). Решающий этап в разработке спектральной классификации связан с созданием в 1885—1924 в Гарвардской обсерватории (США) каталога звёздных спектров, для к-рого была выработана система классификации. С определ. модификациями эта система существует и поныне. Она известна как гарвардская классификация (или HD). В HD классифицировано ок. $2 \cdot 10^6$ звёзд. Она основывается на виде и интенсивности спектральных линий и отражает зависимость степени ионизации разл. элементов от темп-ры. В этой системе все спектры разбиты на классы



Ветвление классификации после класса G вызвано различиями в хим. составе звёзд. С. к. O, B, A иногда называют ранними, K и M — поздними. С. к. разделены на подклассы, обозначаемые араб. цифрами от 0 до 9, напр. V3. Для обозначения особенностей спектров используется система префиксов и суффиксов, напр. dM6e (префикс d означает спектр, характерный для карликов, суффикс e — наличие эмиссионных линий).

Следующий важный шаг в развитии спектральной классификации связан с учётом зависимости спектров от *светимости* звёзд, что нашло выражение в разработке в 1940-х гг. двумерной иёркской классификации [MK, или MKK; от имён создателей — У. У. Морган (W. W. Morgan), Ф. Ч. Киван (P. C. Keenan), Э. Келман (E. Kellman)]. Иёркская классификация звёздных спектров является основной. В этой системе кроме температурного С. к. (в пределах $\pm 0,5$ подкласса, совпадающего с гарвардским) каждой звезде приписывается один из пяти *светимости классов*, зависящий от её абс. *звёздной величины* (светимости). Иногда в МК выделяется класс углеродных звёзд (C), объединяющий классы R и N гарвардской классификации. Основой иёркской классификации является набор стандартных звёзд. Классификация в системе МК, как и в др. классификац. системах, осуществляется путём сравнения со спектрами стандартных звёзд, снятыми на том же инструменте и с той же дисперсией. Критерием классификации является отношение интенсивностей близкорасположенных спектральных линий. Существуют списки стандартных звёзд и атласы их спектров, иллюстрирующие критерии классификации. Точность спектральной классификации, к-рая определяется путём сравнения оценок С. к., полученных разл. авторами, достигает $\pm 0,6$ спектрального подкласса. В системе МК классифицировано ок. 10^6 звёзд и существует программа двумерной классификации всех звёзд каталога HD.