

будет происходить его сильное экспоненциальное затухание, как это следует из выражения (1).

Лит.: Блохинцев Д. И., Основы квантовой механики, 6 изд., М., 1983; Страттон Дж. А., Теория электромагнетизма, (пер. с англ.), М.—Л., 1948. С. П. Ааллиуев. **ВОЛНОВОЙ ПУЧОК** — пучок бегущих волн, создающих волновое поле, ограниченное в поперечном сечении. Обычно это набор плоских волн, волновые векторы к-рых составляют небольшие углы с направлением геом. луча — прямолинейного в однородных средах и криволинейного в плавно неоднородных. Поля В. п. допускают приближённое описание с помощью ур-ний квазиоптики.

ВОЛНОВОЙ ФРОНТ — поверхность, на всех точках к-рой волна имеет в данный момент времени одинаковую фазу. Распространение волны происходит в направлении нормали к В. ф. и может рассматриваться как движение В. ф. В трёхмерном случае волновое поле, создаваемое точечным источником (монополем, диполем и т. д.), в изотропной среде имеет сферич. В. ф., в двумерных системах (напр., волны на поверхности водоёмов) — цилиндрические или круговые, в одномерных системах (линии передачи, волноводы) — плоские В. ф.

ВОЛНОВЫЕ УСКОРЯТЕЛИ — устройства для ускорения ионов волнами пространственного заряда с регулируемой фазовой скоростью, возникающими в электрическом пучке при его прохождении через определённые волноводные структуры. Пример такого ускорения — авторезонансное ускорение ионов. См. *Коллективные методы ускорения.*

ВОЛНЫ

С о д е р ж а н и е

Волновые уравнения	316
Интерференция волн. Стоячие волны	318
Направляемые волны	319
Отражение и преломление волн	319
Модулированные волны. Групповая скорость	320
Сферические и цилиндрические волны	320
Волновые пучки и лучи	321
Дифракция волн	322
Возбуждение волн	322
Эффект Доплера. Среда с переменными параметрами	323
Нелинейные волны	323
Простые волны	324
Ударные волны	324
Солитоны	325
Модулированные нелинейные волны	325
Нелинейные волновые пучки	325
Взаимодействие волн	326
Волны в активных средах	327
Автоволны	327
Случайные волны	328

В.— изменения нек-рой совокупности физ. величин (полей), способные перемещаться (распространяться), удаляясь от места их возникновения, или колебаться внутри огранич. областей пространства. В совр. понимании понятие В. настолько широко и многозначно, что фактически невозможно указать ни одного признака, общего для всех видов движений или процессов, к-рые наша интуиция или традиция относит к волновым.

Вероятно, первоначально понятие В. ассоциировалось с колебаниями водной поверхности (см. *Волны на поверхности жидкости*). Характерный признак таких В.— перемещение изменений уровня поверхности на заметные расстояния за счёт только колебат. или вращат. движений частиц воды, участвующих в волнообразовании. Аналогичными свойствами обладают механич. движения и в других пространственно распределённых системах (*системах с распределёнными параметрами*); напр., продольные упругие волны в газах, жидкостях, твёрдых телах, плазме способны перемещаться в пространстве и тем самым переносить энергию, кол-во движения (импульс) и др. величины за счёт последоват. передачи их от одних частиц к другим без обязат. переноса самих частиц вместе с В. Такие В. наз. также акустическими или звуковыми. Конечно, В. могут распространяться и в условиях общего (дрейфового) сноса среды (ветры, течения и т. п.) и даже сами вызывать такой снос, но роль этих дрейфов во мн. случаях пассивна — в том смысле, что они, видоизменяя характер В., не

предопределяют саму возможность их существования. Для механич. волновых движений необходима «среда обитания», ибо они суть возмущения параметров этой среды. Однако в общем случае В. не обязательно связаны с наличием вещества. Напр., эл.-магн. В. в вакууме представляют собой взаимосвязанные изменения электрич. и магн. полей, а *гравитационные волны* являются изменениями геом. свойств пространства — времени. Во мн. случаях волновые процессы имеют колебат. характер (см. *Колебания*), однако возможны и единичные волны в виде локализованных в пространстве импульсных возмущений (взрывные В., *пераный импульс* и т. п.).

Важное свойство волновых движений — наличие локальной (близодействующей) связи между возмущениями в соседних точках пространства. Так, подъём поверхности воды приводит к нарушению равновесия в прилегающих областях, и благодаря силе тяжести, стремящейся восстановить равновесие, движение захватывает всё новые частицы воды, тем самым порождая В. В натянутой струне роль восстанавливающей силы играет сила упругости. В звуковых В. сжатие отд. участка упругой среды повышает давление в нём, что приводит в движение соседние частицы. В эл.-магн. В. благодаря эл.-магн. индукции изменение напряжённости электрич. поля в одной точке порождает магн. поле в соседних точках, и наоборот. При этом всякий раз, когда передача возмущений происходит по законам причинно-следственной связи, т. е. когда источник (причина) возмущения в данной точке обуславливает отклик (следствие) в соседних, скорость передачи этих возмущений не может превышать абсолютного (не зависящего от природы В.) предела, равного скорости света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с.

В реальном веществе распространение В. всегда сопровождается потерями (диссипацией) энергии за счёт её перехода в тепло; если, однако, потери не слишком велики, процесс сохраняет волновой характер. С др. стороны, в активных, т. е. содержащих источники энергии, средах передача возмущений может сопровождаться их «подпиткой» от этих источников, причём такая подпитка может почти полностью определять характер процесса. Такие процессы (к-рые, в частности, имеют чрезвычайно важное значение в биологии) тоже относят к волновым (см. ниже раздел Автоволны).

Вместе с тем в кинематич. смысле понятие В. имеет ещё более широкое употребление. К В. можно отнести любые последовательные пространственно-временные изменения поля, даже если они причинно не связаны. Так, в периодической (напр., синусоидальной) бегущей В. фиксированные максимумы и минимумы могут перемещаться с любой скоростью, в т. ч. сверхсветовой (однако любое местное изменение в таком бесконечном процессе уже не может передаваться быстрее, чем со скоростью c). Вообще говоря, изменения состояния системы, исполняемые по определённой (составленной «заранее») программе в разл. точках пространства (напр., зажигание лампочек вдоль цепочки или движение электронного луча по экрану телевизора), могут иметь вид В., распространяющихся с какой угодно скоростью. Однако, напр., передача сигналов вдоль цепочки зажигаемых лампочек (или изображений из телецентра на экран телевизора) — процесс, причинно обусловленный, и его скорость уже не может быть сверхсветовой.

Др. кинематич. особенность В. связана с ролью системы отсчёта, в к-рой они наблюдаются. Напр., рельеф холмистой местности или любая периодич. пространственная структура (решётка) для движущегося наблюдателя приобретает характер бегущей В., и наоборот — любые В., распространяющиеся без изменен. формы со скоростями, меньшими предельной (световой), превращаются в неподвижные пространственные распределения, если их наблюдать в сопутствующей системе отсчёта.