

широты места φ и высоты его H над уровнем моря. Приблизительно U . с. п.

$$g = 978,0318 (1 + 0,005302 \sin \varphi - 0,000006 \sin^2 2\varphi) - 0,0003086 H.$$

На широте г. Москва на уровне моря $g = 981,56 \text{ см/с}^2$.

УСКОРЕНИЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ — то же, что *ускорение свободного падения*.

УСКОРИТЕЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ — установки, служащие для ускорения заряж. частиц до высоких энергий. При обычном словоупотреблении ускорителями (U .) наз. установки, рассчитанные на ускорение частиц до энергий более 1 МэВ. На рекордном U . протонов — теватроне достигнута энергия 940 ГэВ (Лаборатория им. Ферми, США). Крупнейший ускоритель электронов LEP (ЦЕРН, Швейцария) ускоряет встречные пучки электронов и позитронов до энергии 45 ГэВ (после установки дополнит. ускоряющих устройств энергия может быть увеличена вдвое). U . широко применяются как в науке (генерация элементарных частиц, исследование их свойств и внутр. структуры, получение не встречающихся в природе нуклидов, изучение ядерных реакций, радиобиол., хим. исследования, работы в области физики твёрдого тела и т. д.), так и в прикладных целях (стерилизация медицинской аппаратуры, материалов и др., дефектоскопия, изготовление элементов микроэлектроники, произ-во радиофармакологич. препаратов для медицинской диагностики, лучевая терапия, радиац. технологии в технике — искусств. полимеризация лаков, модификация свойств материалов, напр. резины, изготовление термоусаживающихся труб и др.).

Во всех действующих U . увеличение энергии заряж. частиц происходит под действием внешних продольных (направленных вдоль скорости ускоряемых частиц) электрич. полей. Ведутся поиски способов ускорения с помощью полей, создаваемых другими движущимися частицами или эл.-магн. волнами, к-рые возбуждаются или модифицируются самим пучком ускоряемых частиц или др. пучками (*коллективные методы ускорения*). Коллективные методы теоретически позволяют резко увеличить темп ускорения (энергию, набираемую на 1 м пути) и интенсивность пучков, но пока к серьёзным успехам не привели.

U . включают в себя следующие элементы: источник ускоряемых частиц (электронов, протонов, античастиц); генераторы электрич. или эл.-магн. ускоряющих полей; вакуумную камеру, в к-рой движутся частицы в процессе ускорения (в плотной газовой среде ускорение заряж. частиц невозможно из-за их взаимодействия с молекулами газов, заполняющих камеру); устройства, служащие для впуска (инжекции) и выпуска (эжекции) пучка из U .; фокусирующие устройства, обеспечивающие длит. движение частиц без ударов о стенки вакуумной камеры; магниты, искривляющие траектории ускоряемых частиц; устройства для исследования и коррекции положения и конфигурации ускоряемых пучков. В зависимости от особенностей U . один или несколько из перечисленных элементов в них могут отсутствовать.

В целях радиац. безопасности U . окружаются защитными стенами и перекрытиями (биол. защита). Толщина и выбор материала защиты зависят от энергии и интенсивности ускоренных пучков. Ускорители на энергии выше неск. ГэВ в целях безопасности обычно располагают под землёй.

По принципу устройства различают U . прямого действия, или *высоковольтные ускорители* (ускорение в пост. электрич. поле), *индукционные ускорители* (ускорение в вихревых электрич. полях, возникающих при изменении магн. индукции) и резонансные U ., в к-рых при ускорении используются ВЧ эл.-магн. поля. Все действующие U . на предельно высокие энергии принадлежат к последнему типу.

Современные U . делятся на два больших класса: *линейные ускорители* и *циклические ускорители*. В линейных U . траектории ускоряемых частиц близки к прямым линиям. По всей длине таких U . располагаются ускоряющие станции. Наибольший из работающих линейных U . (электрон-

ный U . в Стэнфорде) имеет длину ≈ 2 мили (3,05 км). Линейные U . позволяют получить мощные потоки частиц, но при больших энергиях оказываются слишком дороги. В циклич. U . «ведущее» магн. поле изгибает траектории ускоряемых частиц, свёртывая их в окружности (*кольцевые ускорители* или синхротроны) или спирали (*циклотроны, фазотроны, бетатроны и микротроны*). Такие U . содержат одно или несколько ускоряющих устройств, к к-рым частицы многократно возвращаются в течение ускорит. цикла.

Следует отметить различие между U . лёгких частиц (электронов и позитронов), к-рые обычно наз. электронными U ., и U . тяжёлых частиц (протонов и ионов).

Электронные ускорители. Особенности электронных U . связаны с двумя причинами. Скорость электронов и позитронов уже при небольших энергиях (неск. МэВ) мало отличается от скорости света и обычно может считаться постоянной, что существенно упрощает и удешевляет U . Но, с др. стороны, электроны и позитроны в магн. полях теряют много энергии на эл.-магн. излучение (*синхротронное излучение*). В циклич. U . эти потери приводят либо к огромным размерам U . (при больших радиусах кривизны потери на синхротронное излучение уменьшаются), либо к необходимости иметь мощные ускоряющие станции, сильно удорожающие U . Синхротронное излучение играет и положит. роль: оно приводит к уменьшению размеров ускоряемого пучка, что облегчает создание *накопителей*, позволяющих проводить опыты на *встречных пучках*.

Кольцевые электронные U . используют в качестве источников синхротронного излучения в УФ- или рентг. диапазоне. Благодаря высокой плотности излучения и его острой направленности циклич. U . являются уникальными источниками эл.-магн. волн указанных диапазонов. Большие потери электронов на излучение часто заставляют отдавать предпочтение линейным U .

Ускорители тяжёлых частиц (преим. протонов) сильно отличаются от электронных U . Потери энергии на синхротронное излучение в них при достигнутых в наст. время энергиях (~ 1 ТэВ) практически отсутствуют, и поддерживать высокий темп ускорения обычно оказывается невыгодно (т. к. мощность, затрачиваемая на питание ускоряющих станций, пропорциональна квадрату напряжённости электрич. поля и быстро растёт с увеличением темпа ускорения). Отсутствие заметного синхротронного излучения приводит к тому, что амплитуда поперечных колебаний частиц в процессе ускорит. цикла затухает сравнительно медленно (как квадратный корень из импульса частиц), и устойчивость движения в отсутствие спец. мер нарушается под действием даже сравнительно слабых возмущений. Все U . тяжёлых частиц на высокие энергии принадлежат к типу циклических.

В 90-х гг. всё большее значение приобретают накопительные и встречные кольца, в к-рых плотные пучки заряж. частиц циркулируют длит. время, не меняя своей энергии. Такие кольца используются для осуществления реакций между частицами, движущимися навстречу друг другу (встречные пучки), для накопления ионов и частиц, непосредственно в природе не встречающихся (позитронов и антипротонов), а также для генерации синхротронного излучения. При взаимодействии частиц, движущихся навстречу друг другу, может реализоваться вся приданная им при ускорении энергия, в то время как при взаимодействии ускоренных частиц с неподвижными большая часть энергии связана с движением центра масс частиц и в реакциях не участвует.

Историческая справка. Разработка U . началась в 1920-х гг. и имела целью расщепление атомных ядер. Раньше других были созданы *электростатические генераторы* [Р. Ван-де-Грааф (R. Van de Graaf)] и *каскадные генераторы* [Дж. Кокрофт (J. Cockroft) и Э. Уолтон (E. Walton)], принадлежачие к классу U . прямого действия, а затем первый циклич. резонансный U . — циклотрон [Э. Лоуренс (E. Lawrence), 1921]. В 1940 Д. Керст (D. Kerst) построил первый U . индукц. типа — бетатрон.

В 40-х гг. появились теоретич. работы, в к-рых исследовалась устойчивость движения ускоряемых частиц. В пер-