

ми перегонки, жидкостной хроматографии или испарением. Производительность синтеза C_{60} при такой технологии составляет ~ 1 г/ч; для C_{70} она на порядок ниже, однако получаемого кол-ва достаточно для исследований не только тонких плёнок, но и поликристаллов, состоящих из молекул данного сорта. Ф. с более высоким числом S получают в меньших кол-вах. Наряду с замкнутыми сферич. и сфероидальными структурами при термич. распылении графита образуются протяжённые структуры — тубулены, построенные также на основе шестиугольных углеродных колец, характерных для графита. Они представляют собой спирально свёрнутые слои графита, длина таких трубок достигает неск. мк, а диаметр — неск. нм. Один из их торцов закруглён и составлен шести- и пятиугольными кольцами S , др. торец обычно прикрепляется к стенке эксперим. камеры. Ф. образуются также в пламенах разных углеводородов и при пиролизе смол. Имеются сообщения о присутствии Ф. в нек-рых природных минералах (напр., в шунгите).

Молекулы Ф. сохраняют форму при нагреве до темп-ры ок. 2000 К. Темп-ра плавления C_{60} ок. 1800 К. В твёрдом состоянии C_{60} представляет собой кристалл с плотноупакованной гексагональной или гранцентрированной кубич. структурой (в зависимости от условий получения кристалла). При темп-ре ниже 256 К происходит фазовый переход с образованием кубич. кристаллич. структуры. Плотность кристаллич. C_{60} при нормальных условиях $1,69$ кг/дм³, расстояния между центрами соседних молекул при этом составляют $1,00$ нм. Кристаллич. C_{60} — полупроводник с шириной запрещённой зоны $1,5$ — $1,9$ эВ.

В 1991 были открыты сверхпроводящие свойства поликристаллич. C_{60} , легированного атомами щелочных металлов. В табл. приведены параметры сверхпроводящих соединений C_{60} , полученных при исследовании поликристаллич. образцов. Результаты исследований показали, что механизм сверхпроводимости в таких структурах основан на образовании куперовских пар в результате взаимодействия электронов с внутримолекулярными колебаниями в молекуле C_{60} .

Потенц. возможности использования Ф. и фуллереносодержащих соединений основаны на их уникальных физ. хим. свойствах. Фторированные Ф. могут стать основой для идеального твёрдого смазочного материала, пригодного для работы при сверхнизких темп-рах. Перспективно применение фуллереновых покрытий в качестве катализаторов при напылении искусств. алмазных покрытий из углеродной плазмы газового разряда. Использование в этой технологии многослойных покрытий C_{70} привело к увеличению скорости роста алмазной плёнки на ~ 10 порядков.

Критическая температура T_c перехода в сверхпроводящее состояние и параметр кристаллической решётки a_0 для поликристаллических образцов соединений C_{60} с атомами щелочных металлов

Образец	T_c , К	a_0 , нм
RbCs ₂ C ₆₀	33	1,4555 ± 0,0007
Rb ₂ CsC ₆₀	31	1,4431 ± 0,0006
Rb ₃ C ₆₀	29	1,4384 ± 0,0010
KRb ₂ C ₆₀	27	1,4324 ± 0,0010
K ₂ CsC ₆₀	24	1,4292 ± 0,0010
K ₂ RbC ₆₀	23	1,4243 ± 0,0010
K ₃ C ₆₀	19	1,4240 ± 0,0006
Na ₂ CsC ₆₀	12	1,4134 ± 0,0006
Li ₂ CsC ₆₀	12	1,4120 ± 0,0021
Na ₂ RbC ₆₀	2,5	1,4028 ± 0,0011
Na ₂ KC ₆₀	2,5	1,4025 ± 0,0010
Na ₂ CsC ₆₀	12	4
C ₆₀		1,4161 ± 0,0009

Уникальные нелинейные оптич. свойства Ф. и их расщеплений открывают возможности их применения в качестве нелинейных оптич. элементов (удвоителей и утроителей частоты) в видимой области спектра, а также *оптических затворов* (пороговая интенсивность лазерного излучения,

соответствующая снижению прозрачности раствора C_{60} или C_{70} в бензоле или толуоле на 2—3 порядка, составляет $\sim 10^7$ Вт/см²). Оптич. затворы на основе Ф. могут найти применение в оптич. устройствах обработки и передачи информации для защиты их датчиков и др. уязвимых элементов от интенсивного лазерного излучения.

Твёрдые Ф. с полупроводниковыми свойствами обладают фотопроводимостью в видимом диапазоне и могут использоваться в датчиках оптич. излучения слабой интенсивности и в преобразователях оптич. сигналов. Обсуждается возможность создания сверхпроводящих устройств на основе Ф., особенно Ф. с высоким числом атомов, т. к. для них ожидаемая темп-ра перехода в сверхпроводящее состояние лежит в диапазоне 60—100 К. Перспективы возможного использования углеродных микротрубок связывают с созданием на их основе систем записи, хранения, переработки и передачи информации.

Структура молекул Ф. позволяет рассматривать их как трёхмерный аналог ароматич. соединений. В хим. процессах Ф. проявляют себя как слабые окислители. Они легко присоединяют водород, галогены, свободные радикалы, щелочные металлы и их оксиды. Особый интерес представляет полученное металлосодержащее соединение $C_{60}(OsO_4)_L_2$ (где L — трет-бутилпиперидин), обладающее ферромагн. свойствами, а также создание аналогичных соединений с др. металлами платиновой группы. Присоединение к Ф. металлосодержащего органич. радикала уменьшает средство молекулы Ф. к электрону, что изменяет её электрич. свойства и открывает возможность создания нового класса органических полупроводников с параметрами, изменяющимися в широком диапазоне.

Одно из перспективных направлений химии Ф. связано с возможностью внедрения внутрь полый сферич. или сфероидальной молекулы одного или неск. атомов и созданием, т. о., нового класса хим. соединений. Такие структуры (эндоддралы) позволяют локализовать атомы с повыш. хим. активностью в строго определённой точке биол. объекта или элемента микроэлектроники. В настоящее время (1995) синтезировано значит. кол-во эндоддральных структур, в к-рых в молекулы Ф. (C_{60} , C_{70} , C_{78} , C_{84} и др.) внедрено до 3 атомов мн. элементов (в т. ч. металлов).

Лит.: Елецкий А. В., Смирнов Б. М., Кластер C_{60} — новая форма углерода, «УФН», 1991, т. 161, в. 7, с. 173; их же, Фуллерены, там же, 1993, т. 163, в. 2, с. 33; Kroto H. W., Allaf A. W., Balm S. P., C_{60} : Buckminsterfullerene, «Chem. Rev.», 1991, v. 91, p. 1213. А. В. Елецкий.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ДЛИНА (элементарная длина) — гипотетич. универсальная постоянная размерности длины, определяющая пределы применимости фундам. физ. представлений — теории относительности, квантовой теории, принципа причинности. Через Ф.д. l выражаются масштабы областей пространства-времени и энергии-импульса (линейных размеров $x < l$, интервалов времени $t < l/c$, энергии $\mathcal{E} > \hbar c/l$), в к-рых можно ожидать новых явлений, не укладывающихся в рамки существующей физ. картины. Если бы это ожидание оправдалось, то предстояло бы ещё одно революционное преобразование физики, сопоставимое по своим последствиям с созданием теории относительности или квантовой теории. Соответственно Ф.д. вошла бы как существ. элемент в теорию элементарных частиц, играя роль третьей (после c и \hbar) фундам. размерной константы физики, ограничивающей пределы применимости старых представлений.

С помощью известных характерных физ. параметров можно построить ряд величин размерности длины, к-рые в разное время обсуждались как претенденты на роль Ф.д. Это — *комптоновская длина волны* электрона $\lambda_e \sim 10^{-11}$ см (эл.-магн. взаимодействие), пиона $\lambda_\pi \sim 10^{-13}$ см и нуклона $\lambda_N \sim 10^{-14}$ см (сильное взаимодействие), характерная длина слабого взаимодействия $\sqrt{G_F/\hbar c} \sim 10^{-16}$ см (G_F — фермиевская константа слабого взаимодействия), гравитационная, или *планковская длина* $\sqrt{G\hbar/c^3} \sim 10^{-33}$ см (G — гравитац. постоянная). Отождествление Ф.д. с одной из перечисленных величин сыграло бы огромную роль для