

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ (ВТСП) Магнитная левитация

14 октября 1899г. герой романа Г.Уэллса «Первые люди на Луне» изобрел кейворит – вещество, непроницаемое для гравитации: он сплавил несколько различных металлов с некоторыми другими химическими элементами и в течение недели поддерживал смесь в жидком состоянии, а затем дал ей медленно остыть. Реакция заканчивалась при температуре 60° по Фаренгейту (15,6°C). Чудо-вещество удавалось приготовить только с примесью... гелия. К сожалению, по фабуле романа, точный рецепт навсегда утерян.

В своих фантазиях Уэллс ушел не так уж далеко. В 1911г. Г. Камерлинг-Оннес открыл сверхпроводимость ртути, охладив её жидким гелием до температуры 4,2К. Как выяснилось позже, полная потеря электрического сопротивления при переходе в сверхпроводящее состояние не единственное необычное свойство такого вещества.

В 1933г. В.Мейснер и Р.Оксенфельд экспериментально установили, что сверхпроводник полностью вытесняет магнитное поле из своего объема (если индукция поля не превышает критического значения). «Абсолютный» диамагнетизм сверхпроводящего состояния означает, в частности, возможность свободного парения магнита над чашей из сверхпроводника. А это уже и есть «левитация», о которой мечтал писатель, правда, магнитная, а не гравитационная. В 1945г. такой опыт блестяще осуществил В.К.Аркадьев.

И всё бы хорошо, если бы не слишком уж низкие – гелиевые температуры. Практическое использование вожденной «левитации» на основе сверхпроводников из металлов и их простых сплавов (максимальная температура перехода 23К) оставалось долгое время лишь дорогостоящей экзотикой. Но вот в сентябре 1986г. появляется научное сообщение Г. Беднорца и А. Мюллера о том, что в керамических образцах на основе Ва–La–Cu–O возможна высокотемпературная сверхпроводимость. Несмотря на осторожный тон публикации, на указание лишь большой вероятности перехода образцов в сверхпроводящее состояние при температурах 30–35К, несмотря на скепсис большинства физиков по поводу открытия, оно всё же состоялось, и было отмечено Нобелевской премией в рекордно короткий срок – через год!

Пошел отсчет новой эры – высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП). Вскоре стало ясно, что именно ВТСП-материалы могут быть принципиально использованы (наяву, а не в фантастическом романе!) во множестве технологических новшеств XXIв. – от «левитирующих» поездов на магнитной подушке и подшипников без трения до медицинских томографов, позволяющих контролировать биотоки человеческого мозга. Уэллс опередил своим «открытием» эпоху на 87 лет, однако точность его предсказания поразительна. Даже сам процесс приготовления «кейворита» практически полностью воспроизводит технологию реальной крупнокристаллической сверхпроводящей керамики, составляющей основу современных ВТСП-материалов: кристаллизацию продукта также ведут из расплава примерно в течение недели, а для завершения процесса используется химическая реакция окисления при относительно низких температурах. Без такой обработки материал не становится сверхпроводником и не способен «левитировать» в магнитном поле. Однако во всём этом нет никакой мистики и основная задача исследователей состояла в том, чтобы понять и научиться безотказно управлять сложными процессами, которые ведут к созданию перспективных для практического применения ВТСП-материалов.

Наиболее многообещающий способ приготовления современных «кейворитов» (а ВТСП-керамик с различной структурой и свойствами создано теперь несколько десятков) родился на стыке химии, физики и материаловедения. Секрет заключается не столько в получении ВТСП-вещества, сколько в создании на его основе определенного материала.

Этот секрет (как и множество других, утерянных тайн) мог быть известен в глубокой древности. По преданию, саркофаг легендарного мусульманского пророка Магомеда висел в воздухе, не падая на землю. В память об этой легенде магнитная «левитация» получила мрачноватое название «гроб Магомеда».

В 1996г. в Токио, в Международном центре сверхпроводимости была продемонстрирована магнитная левитация человека. «Подопытным кроликом» стал 142-килограммовый борец сумо (национального японского вида борьбы), а впоследствии – и все желающие. Борец левитировал, стоя на магнитном диске, который плавал над ВТСП-пьедесталом, охлажденным кипящим жидким азотом ( $-196^{\circ}\text{C}$ ). Зазор между диском и тумбой был совсем не мал – около 1см. Это, конечно, потрясающий успех! Даже ребёнок мог заставить вращаться левитирующего гиганта, и только незаметное глазу сопротивление воздуха, в конце концов, тормозило его свободное вращение.

*По материалам сайта Факультета наук о материалах  
МГУ имени М.В.Ломоносова, 2006г.*