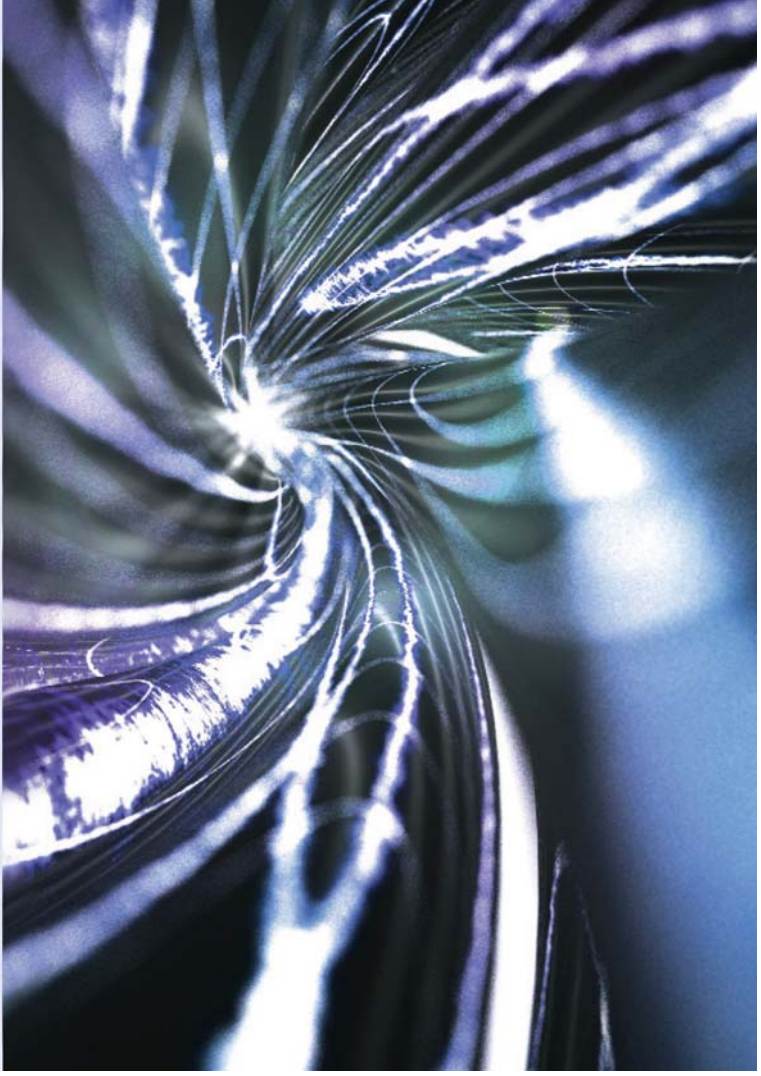

الطريق إلى انعدام المقاومة الكهربائية

الكلمات المفتاحية: ناقلية فائقة، مادة كثيفة، أنصاف النواقل.

منذ اكتشاف الناقلية الفائقة قبل مئة عام وفهمنا لها يتقدم بشكل أبعد ما يكون عن السلاسة. يشرح بول ميكائيل غرانت لماذا ما تزال هذه الظاهرة الجميلة والأنيقة والعميقة تحير فيزيائيي المادة الكثيفة وتربكهم حتى يومنا هذا.

من بين جميع اكتشافات فيزياء المادة الكثيفة في القرن العشرين، يطلق بعض الناس على الناقلية الفائقة اسم «جوهرة التاج». في حين يدعي آخرون أن أنصاف النواقل أو حل بنية الـ DNA تستحق هذا الشرف، وذلك نظراً للفوائد التي قدمها هذان الاكتشافان للإنسانية. ولا ينكر أحد حتى الآن أنه منذ مئة عام عندما اكتشف فريق بقيادة هايكة كامرلينغ أونس الناقلية الفائقة (وهي الغياب التام للمقاومة الكهربائية) في مختبر في لايدن–بهولندا، فإن المجتمع العلمي أصيب بدهشة كبيرة. إذا علمنا أن: الإلكترونات عند نقلها للتيار الكهربائي تتصادم بلا توقف مع الشبكة البلورية التي تمر من خلالها فإن إمكانية نقل التيار بدون تصادمات كانت ولا زالت ظاهرة معجزة خارقة.

لقد كان اكتشاف الناقلية الفائقة تتويجاً للسباق بين أونس والفيزيائي البريطاني جيمس ديوار لأنهما كانا يتنافسان للحصول على درجة حرارة الصفر المطلق وذلك باستعمال تقنيات غاية في التعقيد لتمييع الغازات. وقد فاز أونس بهذا السباق بعد أن نجح بتمييع الهيليوم حيث برّده لدرجة 4.2 K وحصل نتيجتها على جائزة نوبل للفيزياء لعام 1913 (إن الرقم القياسي العالمي الحالي لأخفض درجة حرارة هو 10^{-15} K. ونذكر بأنه من المستحيل ترموديناميكياً الحصول على الصفر المطلق). هذا ولم يكن الحصول على درجات حرارة منخفضة هو غاية بحد ذاتها للعلماء. ما كان يهمهم هو معرفة تغير سلوك المواد وبالأخص الناقلية الكهربائية في شروط قرّية. في عام 1900 خمّن العالم الألماني بول درود (وهو الذي قدّر، واقترح بناء على تجارب جول تومسون ولورد كلفن، أن الكهرباء تتطلب جريان جسيمات مشحونة صغيرة) أن مصدر مقاومة النواقل الكهربائية تأتي من هذه الجسيمات المشحونة عندما تصدم بشكل غير مرن الذرات المهتزة. إذاً ماذا يمكن أن يحصل للمقاومة الكهربائية لمعدن مغمور في الهيليوم السائل الذي تم الحصول عليه حديثاً؟ لقد كان للفيزيائيين ثلاثة توقعات:

يقول التوقع الأول إن المقاومة الكهربائية ستستمر بالانخفاض بصورة مستمرة لتصل إلى الصفر.

أما التوقع الثاني فيقول إن الناقلية ستستقر عند قيمة منخفضة وذلك نظراً لوجود شوائب تصطدم بها الإلكترونات.

في حين كانت أكثر الأفكار شعبية –والآتية من تصور المدارات