

การแสวงหาศูนย์สัมบูรณ์

เงื่อนงำของฟิสิกส์อุณหภูมิต่ำ

เค. เมนเคลซอห์น

ตามกฎต่างทางฟิสิกส์นั้นไม่เคยปรากฏว่าจะบรรลุอุณหภูมิต่ำศูนย์สัมบูรณ์ได้เลย แต่โดยหลักการแล้วสามารถเข้าไปใกล้ได้ในระดับหนึ่งที่ไม่อาจกำหนดได้ การทำออกซิเจนเหลวของลูยส์ กายเยเคในปีค.ศ. ๑๘๘๗ นับว่าได้เริ่มต้นการแสวงหาอุณหภูมิต่ำยิ่งขึ้นกว่าที่เคยปรากฏมาก่อน ซึ่งห้องปฏิบัติการหลายแห่งได้ดำเนินการรอยตามไปทั่วทั้งโลก จนกระทั่งในที่สุดเมื่อคาเมอร์ลิงห์ ออนเนสในไลเคนทำให้ฮีเลียมซึ่งเป็นก๊าซที่มีจุดเดือดต่ำสุดกลับกลายเป็นของเหลวได้แล้ว ดูเหมือนราวกับว่าช่วงขณะนั้นการแข่งขันได้มาถึงจุดสุดท้ายแล้ว อย่างไรก็ตาม ในอีกไม่กี่เดือนหลังจากมรณกรรมของเขามีการนำโมเมนต์แม่เหล็กมาใช้ในกรรมวิธีลดอุณหภูมิต่ำแบบใหม่ ที่สร้างขึ้นโดยใช้โมเมนต์แม่เหล็กของฮีเลียมตรอนเป็นอันดับแรกและต่อมาใช้ของนิวเคลียสในอะตอม การแสวงหาตลอดระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมาจึงทำให้ได้ผลสืบเข้าไปใกล้ศูนย์สัมบูรณ์ถึงระดับใกล้เคียงหนึ่งในล้านส่วนขององศา เซนติเกรด

สิ่งที่น่าสนใจยิ่งขึ้นไปอีกก็คือเรื่องราวของปรากฏการณ์ไม่คาดฝัน ซึ่งสังเกตได้เมื่อเข้าไปใกล้ศูนย์สัมบูรณ์ ดังเช่น การสูญเสียความเสียดทานอย่างสิ้นเชิงและการสูญหายไปของความต้านทานไฟฟ้า เรื่องเหล่านี้ไม่แต่เพียงได้นำไปสู่แนวคิดใหม่ทางฟิสิกส์เท่านั้น แต่ยังนำไปสู่การเริ่มต้นของเทคโนโลยีใหม่แขนงหนึ่ง นอกจากการบรรเทาความก้าวหน้าในทางวิทยาศาสตร์ล่าสุดแล้ว ฉบับแก้ไขปรับปรุงใหม่นี้ยังได้ให้รายละเอียดของการพัฒนาอย่างที่น่าสนใจตาคือใจในเทคโนโลยีใหม่นี้ของทศวรรษที่ผ่านมา

เคอร์ค เมนเคลซอห์น, เอฟอาร์เอส, เกิดในเบอร์ลินซึ่ง ๓ ที่นั่นเขาได้ศึกษาฟิสิกส์กับ เนินส์ต์, หลังก์, ไลน์สไตน์และชเรอดิงเงอร์ ต่อมาได้ย้ายไปอยู่ในออกซ์ฟอร์ดตั้งแต่ค.ศ. ๑๙๑๑ และได้ทำฮีเลียมเหลวสำเร็จเป็นคนแรกในอังกฤษ นับแต่นั้นเป็นต้นมา เขาคำรงฐานะศาสตราจารย์อุปการะคุณแห่งวิทยาลัยวูล์ฟตันในออกซ์ฟอร์ด

ดัชนี

- กฎการแบ่งส่วนเท่า, 114,
122, 124
- กฎของเทราตัน, 55, 64,
93, 148
- กฎของบอยล์, 31
- กรรมวิธีการลดหลั่น, 8, 41,
76, 179
- กรรมวิธีบังคับโดยผลการ,
187
- กระบวนการแอนเดียมเบติก,
167
- กระแสที่ไหลเรื่อยไป, 199
- กรัม-อะตอม, 114, 115
- กลศาสตร์ควอนตัม, 144
หลักสถิติ, 152
ทฤษฎี, 125
- กลศาสตร์นิวตัน, 94
- กอร์ดเนอร์, ซี. เจ., 187, 209
- กังหันสำหรับทำก๊าซเหลว, 21
- ก๊าซ, ค่าคงที่, 117
สภาพซ้อนสถานะ, 150
เทอร์มอมิเตอร์, 63
- การควบแน่นความเร็ว, 287,
ปริภูมิ, 159, 287
- การเคลื่อนที่ไร้ความต้านทาน,
263, 267
- การเคลื่อนที่ไร้ทิศทาง, 99
- การทดลองการหักของเอมเม,
29
- การทำความเย็น, 19
- การทำเหล็กกล้า, 50
- การทำให้เป็นแม่เหล็ก, 167
- การทำออกซิเจนเหลว, 8
- การทำให้แข็ง, 53
- การทำไฮโดรเจนเหลว, 59,
77
- การทำให้แข็ง, 63
- การเท่ากัน, การไม่คงตัว, 187
- การเป็นอนุภาคแสง, 141
- การผสม, เอนโทรปี, 100, 144
- กาเยเต, แอล., 7
- การแยกอนุภาคที่มีประจุด้วย-
แม่เหล็ก, 243
- การแยกฮีเลียม-นีออน, 62, 67
- การลดอุณหภูมิเชิงนิวเคลียร์,
187, 190
- การปรับทิศ, 186
- การทำความเย็น, 193
- สปีน, 186
- การลดอุณหภูมิเชิงแม่เหล็ก,
กระบวนการ, 175
- การยกน้ำหนัก, 249
- การแยก, 244
- ความสำเร็จครั้งแรก,
169, 174
- เงา, 201
- เทอร์มอมิเตอร์, 180
- หลายชั้นคอน, 179
- อุณหภูมิ, 174
- การลดอุณหภูมิ, 229
- การสั้นเชิงอะตอม, 119
- กาลิเลโอ, 127, 180
- กิบบส์, เจ. ดับเบิลยู.,
103, 151
- กิ่งอนุภาค, 273
- กูรี, พี., 165

- เกย์-ลูสแซก, เจ.แอล., 11
 โกลด์สมิทส์, บริษัท, 56
 ขวดแม่เหล็ก, 243
 ขวดสุญญากาศ, 54
 ของไหลยวดยิ่ง,
 ความเร็ววิกฤติ, 267, 265
 การไหลวนเป็นควอนตัม,
 276
 ครุกส์, คับเปิลยู., 73
 เคลลาซิอุส, เค., 253
 เคลลาซิอุส, อาร์.อี., 98
 คลอซี, จี., 20
 คลื่นเคอปรอยล์, 141
 คลอรีน, ของเหลว, 28
 ควอนตัม, เชิงมูลฐาน, 125
 ควอนไทเซชันของพลังงาน,
 87, 125
 ของฟลักซ์แม่เหล็ก, 221
 ของการไหลวน, 276
 ความต้านทานตกค้าง, 83
 ความต้านทานเป็นศูนย์, 199
 ความต้านทานไฟฟ้า, 82
 86
 ความถี่, 123
 ความน่าจะเป็นเชิงสถิติ, 121,
 140
 ความผิดปกติของความร้อน-
 จำเพาะ, 163
 ความไม่แน่นอน, 144
 ความไม่เป็นระเบียบทาง
 สถิติ, 99
 ความร้อนจำเพาะ, 93, 113
 ควอนไทเซชัน, 126
 การวัด, 131
 สเตปโทไรสโกป, 65
 ความร้อนที่สูญเปล่า, 97
 ความร้อนแฝง, 55, 88, 148
 ความเร็วเฉลี่ย, 116
 คาซิมีร์-จงเคอร์, 226
 คานยิอาร์ค เคอ ลาตูร์, ซี.,
 29
 คาพิทซา, ที., 20, 21, 210
 คาร์โบน, เอส., 18, 97
 คาร์บอนไดออกไซด์,
 ไอโซเทอร์ม, 30
 ค่าคงที่ก๊าซ, 117
 อุนเนน, เจ.พี., 81
 อุนสเลอร์, เจ.อี., 236
 อูเปอร์, แอล., 220
 เคลวิน, ลอร์ด (คับเปิลยู.
 หอมสัน), 36, 47, 66
 เคสเซลริง, โอ., 90
 เคอร์ซอพฟ์, จี.อาร์., 65
 เคอร์ซี, เอ็น., 190
 เคิร์ก, เอ., 19
 แคลเรนคอน, ห้องปฏิบัติการ-
 การ, 2
 แคลอริก, 11
 แคลอริมิเตอร์สุญญากาศ,
 55
 ไครโอสแตท, 54
 จอห์นสัน, 21
 จามิน, เจ., 23

- จิโอก, หับเปิดยู. เอฟ., 164
 จุกเค็ลค, 39
 จุกร่วมสาม, 3864, 255
 จุกวิกฤติ, 30, 74
 จุล, เจ. พี., 47
 เจมส์, อาร์. หับเปิดยู., 147
 แจนเซน, พี. เจ. ซี., 65
 โจเซฟสัน, บี., 229
 จำนวนคลื่น, 123

 ชรีฟเฟอร์, เจ. อาร์., 221
 ชเรอติงเงอร์, เอ., 143
 ชไวน์เมคเคอร์ส, เอฟ. เอ.
 เอช., 79
 ชีปนิกอฟ, แอล. วี., 187, 232
 ชาร์ลส์, เจ. ซี. ซี., 32
 ชิโนริเยฟวา, เค. เอ็ม., 108
 เชอร์ชิต, เชอร์วิลเสียม, 133
 เชอร์เวลด, วิสเคานท์ (เอฟ.
 เอ. ลินด์มันน์), 133
 โชเลนเบิร์ก, ที., 160

 ซอมเมอร์เฟลด์, เอ., 157
 ฮิงค์-แคลร์ เคอวิลด์, ซี.
 เอช., 10
 ฮีเมนต์, หับเปิดยู., 19, 58
 เซอร์เมโล, 121
 โซลเวซ, ซี., 20
 โซเลนอยด์, 173
 โซมอน, เอฟ. ซี., 22, 148,
 149, 190

 ซูก, พี., 154, 160
 สวนท์, เจ. จี., 264
 คานา, แอล. โอ., 89, 252
 คาร์ชองวาด, 10, 56
 คูเคเรคค์, ซี., 24
 กูมาส, เจ. บี. เอ., 7
 กูดอง-เปติต์, กญ, 114
 กูวาร์, เจ., 51
 เคโมคริตุส, 13
 เควี, เอช., 27
 เคอบรอนล์, เจ้าชายอุนส์,
 141

 เคอ โบเออร์, เจ., 278
 เคอ ชาส, หับเปิดยู. เจ.,
 205

 คูเขียนแบบเงือจาง, 194, 280
 หรัทท์, ซี. ซี., 21
 ทราเปซนิโควา, โอ., 232
 ทฤษฏีจันน์, 12
 ทอมสัน, เจ. เจ., 154
 ทอมสัน, หับเปิดยู. (ลอร์ด
 เคนวิน), 36, 47, 66
 ทอมสัน, บี. (เคานท์รัมฟอร์ด),
 95
 ทาโคนิส, เค. หับเปิดยู.,
 255, 279
 เทเลอร์สตีทซิง, 75
 เทอร์มอมิเตอร์แบบความ
 ด้านทาน, 62, 93

 ธรรมชาติ, 62, 254, 263,
 268
 ธรรมชาติของความร้อน, 11

- การทำให้เป็นแม่เหล็ก,
 167
 จากความเสียหาย, 95
 ปริมาณของความร้อน, 12
 สวิทช์, 193

 นิวตัน, โอ., 13, 141
 เบ็นสัน, คับเบิลยู., 83, 93
 เบ็นสัน, ตะเกียง, 133
 แบทเตอร์เรอร์, เจ. เอ.,
 29, 35
 ไนเตรท, 94

 บลอสซ, เอฟ, 217
 บอยล์, อาร์., 10
 บอร์น, เอ็ม., 143
 บีก, ซี. เอ., 226
 บาร์ตัน, เจ., 218
 บิสมาร์ค, โอ. ฟอน, 94
 บุนเซน, อาร์. คับเบิลยู., 65
 โบกส์, เจ. ซี., 87
 โบกอลูบอฟ, เอ็น. เอ็น.,
 219

 โบลต์ซมันน์, แอด., 15, 99,
 121, 151
 ค่าคงที่ของ, 116
 โบส, เอส. เอ็น., 152
 โบส-ไอน์สไตน์,
 การควบแน่น, 268
 สถิติ, 152
 เบนเนวิกต์, เอ็ม., 148
 เบอร์บูดี, ซี., 13
 แบรกก์, คับเบิลยู., 141, 147
 แบรกก์, แอด., 147
 แบร์เซโลด, เอ็ม. ซี. ซี., 8,
 103

 ปรีภูมิเฟส, 151
 ปอนตีส, อาร์., 211
 ปรากฏการณ์จุด-หอมคัน, 48,
 58, 63, 67
 ปรากฏการณ์น้ำพุ, 261
 ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก,
 126, 141
 เปซคอฟ, วี. ซี., 108, 275

 เปคิต, เอ. ซี., 114
 เปียริลล์, อาร์. ซี., 258

 ผลึกผสม, 107, 109, 147
 ผลึกเหลว, 255
 ผกกลับไม่ได้, 101
 ผิวเฟร์มี, 160, 217

 หลศาสตร์ไฟฟ้าของลอนดอน,
 208, 217
 หลังก์, ค่าคงที่, 124, 144
 หลังก์, เอ็ม., 89, 93, 144
 หลังกาน, 96
 การเปลี่ยนรูป, 101
 การแลกเปลี่ยน, 192
 การอนุรักษ, 96
 ควอนไทเซชัน, 89, 125
 ความร้อน, 139
 ที่จุดศูนย์, 108, 148, 199
 พิกซ์, 120
 ฟิล์ม, 98, 103, 112
 พิคเคต, อาร์., 8

- ทิปปาร์ค, เอ.ปี., 214
 เพาลี, คัมเปิลยู., 155
 โทเมอร์รันซัค, เจ., 282

 พรอทส์ลิก, เอช., 218
 พลิม, จี.แอล., 79, 80, 91
 พังก์ชันอินส์ไตน์, 129
 ฟาราเดย์, เอ็ม., 27, 154
 ฟิสสิกส์แผนเคิม, 93, 137
 เฟรเนล, เอ.เจ., 141
 เฟร์มี, อี., 156
 เฟิร์ท, อี. เอ็ม., 147
 แฟรงก์แลนค์, อี., 66
 โฟตอน, 141, 143, 157, 273
 โฟนอน, 273
 โฟยน์แมน, อาร์.พี., 276

 ภาชนะของอาร์ชองวาล, 57

 มิกเลนัน, เจ.ซี., 252
 มาริออคค์, อี., 11
 แมกซ์เวลล์, เจ.ซี., 15, 151, 154, 164

 แม่เหล็กไฟฟ้า, 173
 โมเมนตัม, 96, 145
 ปรีกูมิ, 151
 โมเซนเนอร์, เอ.คี., 263
 โมล์เนอร์, คัมเปิลยู., 202, 205
 ปรากฎการณ, 208

 ยังก์, พี., 141

 รอลลิน, บี.วี., 264
 รัทเทอร์ฟอร์ด, อี., 154
 รัมฟอร์ด, เคานต์(ปี.ทอมสัน), 95
 ราชวิทยาลัย, 52
 ริชาร์ดสัน, อาร์.ซี., 284
 รูเบนส์, เอช., 124
 รูปแบบที่เป็นระเบียบ, 99
 แรงยึดเหนี่ยว, 33, 106, 116, 118, 130, 148
 แรมเซย์, คัมเปิลยู., 66
 โรตอน, 275

 ดอกเซอร์, เจ.เอ็น., 66
 ลอนดอน, เอช., 208, 211, 278
 ลอนดอน, เอฟ., 208, 221, 268, 278
 ลาซารอฟ, บี.จี., 187, 264
 ลาตีเมอร์, 164
 ลาว์ซีเอ, เอ.แอล., 7
 ลีฟวิทล์, 275
 ลี, ซี. เอ็ม., 284
 ลีนค์, ซี. ฟอน, 47, 58, 63
 ลีนมันน์, ซี., 133
 ลีนมันน์, เอฟ.เอ. (วิสเซอานต์ เซอร์เวลด), 133
 ลูนา, โรงงาน, 103
 ลูนาสมา, โอ.วี., 194
 เลาเอ, เอ็ม. ฟอน, 147
 เลนออกซ์(ผู้ช่วยลูวาร์), 63, 73
 แลงมัวร์, โอ., 89
 แลคทิสผลึก, 119
 แลนคาเว, แอล.คี., 273

- โลเรนซ์, เอช. เอ., 154
 โลหะผสมควม่ายาคยั้ง, 205,
 210, 216
 กระจก, 201
 การกักฟลักซ์, 233
 การขาดแคลนพลังงาน,
 244
 เข็มพิศใจโร, 248
 ควอนไทเซชันของฟลักซ์,
 220
 เคเบิล, 244
 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, 248
 ช่องว่างพลังงาน, 219
 ชิ้นส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์,
 225
 คาข่ายเดินใย, 233
 ธาตุ, 202
 ผลไอโซโทป, 220
 หลศาสตร์ไฟฟ้า, 208
 ฟลักซ์ยัค, 221
 แม่เหล็ก, 201, 205, 210,
 243
 ระยะเวลาสั้น, 214
 อุกปิ่น, 249
 วิศกรรม, 236
 สถานะผสม, 215
 สารประกอบ, 203
 สารผสม, 238
 เอนโทรปี, 217
 โลเคน,
 ห้องปฏิบัติการโครโวจนิค,
 41, 74
 โรงเรียนผู้สร้างเครื่องมือ
 และเป่าแก้ว, 75
 วอลเลอร์, โอ., 144
 วัชรบูลสกี, เอส. เอฟ., 24
 วัฏจักรการขยาย, 18
 เครื่องยนต์, 17, 20
 วัฏจักรนัมบีสัน-ลินด์, 49
 วาน'ท์ ฮอฟฟ์, เจ. เอช., 103
 วารสารปรัชญา, 1, 57
 วารสารโลเคน, 76
 วิลเฮล์ม, เจ. โอ., 221
 วุกค์, เจ., 205
 เวเบอร์, คับเปิดยู., เอฟ.,
 120, 130
 แวนเคอร์วาลส์, เจ., ซี., 43
 แวนเคอร์วาลส์, สมการ, 44,
 106
 แวนมารัม, เอ็ม., 27
 โวลท์เจอร์, เอส. อาร์., 92
 165, 171
 ไวน์โฮลด์, ภาชนะ, 56
 ศูนย์สัมบูรณ์, 10
 การไม่สามารถบรรลุได้,
 104
 สเตลสัมบูรณ์ของอุณหภูมิ, 36,
 183, 192
 สเตลอุณหภูมิเชิงลอกการิทึม,
 105
 สถานะปราศจากความเสียค-
 หานของการรวมกลุ่มก้อน,
 288
 สถิติเฟร์มี-ดิแรก, 156

- สถิติแมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์,
152
- สปีน, 157
- การจัดลำดับ, 165
- การปรับแนว, 165
- อันตรกิริยา, 184
- เอนโทรปี, 166
- สภาพรับไว้ได้, เชียงแม่เหล็ก,
165
- สภาพไหลยวดยิ่ง, 252
- การไหลวนเชิงควอนตัม,
276
- ความปั่นป่วน, 276
- ความเร็ววิกฤติ, 265, 275
- สมดุลทางเคมี, 103, 149
- สัมพัทธภาพ, 126
- สมิท, เอช., เกรย์สัน, 252
- สุญญากาศ, ขวค, 54
- สูตรการแผ่รังสี, 137, 140
- เส้นความดันไอ, 39
- เส้นวน, 215
- หยาง, ซี. เอ็น., 187
- หลักการกีดกัน, 152
- หลักความไม่แน่นอน, 144
- หลักสถิติ, 15, 143
- ห้องฟอง, 243
- ออกเซินเฟลด์, อาร์., 205
- ออนซาเจอร์, แอล., 276
- ออนเนส, เอช. คาเมอร์ลิงห์,
41, 59, 72, 74
- อลูซูกี้, เค., 24, 57
- อะตอม, 13
- ฮัคคิน, แชท., 258
- อันตรกิริยาอนุภาคนิวเคลียร์, 220
- อาบูฟรีเยฟ, ยู. คี., 282
- อามองตองส์, จี., 10
- อินเตมา, จี. พี., 231
- อินเทอร์เฟียร์เรนซ์, 141
- อิเล็กทรอนิกส์, 159
- ก๊าซ, 159
- การจับคู่, 221
- ความร้อนจำเพาะ, 155
- สปีน, 165
- อิเล็กทรอนิกส์ในโลหะ,
154
- อุณหพลศาสตร์, 12
- กฎข้อที่หนึ่ง, 97
- กฎข้อที่สอง, 97
- กฎข้อที่สาม, 103
- เชิงสถิติ, 99, 128
- อุณหภูมิจเพาะ, 127
- อุณหภูมिसัมบูรณ์, 36, 180, 191
- แนวคิด, 192
- สมดุล, 193
- เอทิลีน, ของเหลว, 23, 25, 35
- เอนโทรปี, 98
- ของกระแสที่ไหลเรื่อยไป,
216, 217
- ของการไหลยวดยิ่ง, 227
- เอนโทรปีเป็นศูนย์, 103
- การเหนี่ยวนำแม่เหล็ก, 207
- ความเสียดทาน, 268

- เอมริโคชอฟ, เอ.เอ., 215
 เอาท์เลอร์, เอส.เอช., 227
 แอเซทีลีน, 7
 แอนครุส, ที., 30
 แอมโมเนีย, ของเหลว, 27, 30
 แอดเลน, เจ.เอฟ., 263
 แอวอกาโดร, เอ., 117, 153
 โอเชอรอฟฟ์, ดี.ดี., 284
 ไอโซเทอร์ม, 31, 74
 ไลน์สไตน์, เอ., 93, 115,
 120, 125
 ชาร์ห์รี, ซี.อาร์., 147
 ฮีธ (ผู้ช่วยของดูวาร์), 73
 ฮีเลียม, 65, 78
 การทำให้แข็ง, 80
 การทำให้เหลว, 72, 78
 ความดันไอ, 80
 จุดวิกฤติ, 67, 71, 72
 ไอโซเทอร์ม, 72
 ฮีเลียมเหลว 1 และ 2, 256
 การเคี้ยว, 252
 การถ่ายเทผ่านบาง, 266
 268
 การนำความร้อน, 256
 ความร้อนจำเพาะ, 88, 252
 ความเร็ววิกฤติ, 267, 275
 ความหนาแน่น, 81, 252
 ความหนืด, 263
 จุดหลอม, 254
 ตัวแบบของไหลสองชนิด,
 270
 ปรากฎการณั้แคลอริกเชิง-
 กล, 272
 ปรากฎการณั้เชิงกลความ-
 ร้อน, 259
 แผนภาพสถานะ, 256
 สภาวะไหลยวดยิ่ง, 263
 เสียงที่สอง, 275
 ไอโซโทปเบา, 108, 279
 ดูนาว, เอ., 131
 เซแกน, ซี., 124
 เซล์มโฮลท์ส, เอช.ฟอน, 103
 แซมบีสัน, คับเปิลยู., 47, 58,
 62, 63, 71
 ไฮเซนเบิร์ก, คับเปิลยู., 142
 ไฮโดรเจนแข็ง, ผิดปกติ, 161
 เหลว, ความหนาแน่น, 59