

Murray Gell-Mann

# Das Quark und der Jaguar

Vom Einfachen zum Komplexen –  
die Suche nach einer  
neuen Erklärung der Welt

Aus dem Amerikanischen von  
Inge Leipold und Thorsten Schmidt

Mit 23 Abbildungen



Piper  
München Zürich

# Inhalt

**Vorwort** 19

## TEIL I

### DAS EINFACHE UND DAS KOMPLEXE

**1 Prolog: Eine Begegnung im Dschungel** 35

**2 Früher Erkenntnisdrang** 45

Ein neugieriges Kind 46

Komplexe adaptive Systeme 52

**3 Information und »grobe« Komplexität** 60

Unbestimmtheit in der Quantenmechanik und in chaotischen Systemen 61

Verschiedene Arten von Komplexität 66

Grobkörnigkeit 68

Die Länge einer Beschreibung 70

Kontextabhängigkeit 72

Prägnanz und »grobe« Komplexität 74

Algorithmischer Informationsgehalt (*algorithmic information content*, AIC) 75

Definition des Begriffs »Information« 78

Komprimierung und Zufallsfolgen 79

Die Nichtberechenbarkeit des AIC 80

#### **4 Zufälligkeit 84**

- Die Bedeutungen von »Zufall« 85
- Zufallszahlen und die Monte-Carlo-Methode 86
- Zufällig oder pseudozufällig? 88
- Deterministisches Chaos in Finanzmärkten 90
- William Shakespeare und die sprichwörtlichen Affen 91
- Effektive Komplexität 93

#### **5 Ein Kind, das eine Sprache erlernt 95**

- Eine Grammatik als partielles Schema 98
- Komplexe adaptive Systeme und effektive Komplexität 99
- Der Unterschied zwischen Regelmäßigkeit und Zufälligkeit 102
- Die Identifikation bestimmter Klassen von Regelmäßigkeiten 103
- Die Segmentierung des Datenstroms – übereinstimmende Informationen 105
- Große effektive Komplexität und mittlerer AIC 105
- Lernen mit den Genen und Lernen mit dem Gehirn 108

#### **6 Bakterien, die eine Antibiotikaresistenz entwickeln 110**

- Die Entwicklung der Antibiotikaresistenz bei Bakterien 113
- Die Evolution als komplexes adaptives System 118
- Direkte Adaptation 120
- Direkte Adaptation, Expertensysteme und komplexe adaptive Systeme 122

## **7 Die wissenschaftliche Erforschung der Welt 126**

- Falsifizierbarkeit und Ungewißheit 130
- Selektionsdrücke, denen die Wissenschaft unterliegt 132
- Vereinheitlichende und zusammenfassende Theorien 134
- Die Einfachheit Großer Vereinheitlichter Theorien 138
- Universelle Gravitation – Newton und Einstein 139

## **8 Die Macht von Theorien 144**

- »Bloß theoretisch« 146
- Eine Theorie über Ortsnamen 146
- Empirische Theorien – Das Zipfsche Gesetz 149
- Skalenunabhängigkeit 154
- Tiefe und Kryptizität 159
- Ein hypothetisches Beispiel 161
- Tiefe, genauer betrachtet 162
- Tiefe und AIC 164
- Kryptizität und Theorien 165

## **9 Was heißt »fundamental« 168**

- Die Sonderstellung der Mathematik 169
- Chemie und Physik des Elektrons 171
- Die Chemie auf ihrer eigenen Ebene 173
- »Treppen« (oder »Brücken«) und Reduktion 174
- Die für die Reduktion der Biologie erforderliche Information 176
- Biochemie – effektive Komplexität und Tiefe 178
- Leben: hohe effektive Komplexität – zwischen Ordnung und Unordnung 179
- Psychologie und Neurobiologie – Bewußtsein und Gehirn 180

Konzentration auf Mechanismen oder Erklärungen –  
»Reduktionismus« 183  
Einfachheit und Komplexität vom Quark bis zum  
Jaguar 185

## TEIL II DAS QUANTENUNIVERSUM

### **10 Einfachheit und Zufall in der Quantenwelt 189**

Das Standardmodell 191  
Sogenannte Große Vereinheitlichte Theorien 192  
Einsteins Traum 193  
Wird der Traum Wirklichkeit? – Die Superstring-  
Theorie 195  
Keine allumfassende Theorie 197  
Der Anfangszustand und der (die) Zeitpfeil(e) 197  
Wie der Anfangszustand ausgesehen haben könnte 199  
Statt einer allumfassenden Theorie nur Wahrscheinlichkeiten  
für Geschichten 200  
Regelmäßigkeiten und effektive Komplexität durch  
»eingefrorene« Zufallsereignisse 203

### **11 Eine moderne Interpretation der Quantenmechanik 205**

Die Quantenmechanik und die klassische Näherung 205  
Die approximative Quantenmechanik gemessener  
Systeme 206  
Die modernere Interpretation 207  
Der Quantenzustand des Universums 210  
Alternative Geschichten auf der Galopprennbahn 213  
Alternative Geschichten in der Quantenmechanik 214  
Feinkörnige Geschichten des Universums 216  
Grobkörnige Geschichten 217  
Grobkörnigkeit kann Interferenzterme auswaschen 219

Dekohärenz grobkörniger Geschichten – echte Wahrscheinlichkeiten	220
Verknüpfung und Mechanismen der Dekohärenz	221
Wahrscheinlichkeiten und angezeigte Wettkurse	222
Dekohärenz für ein Objekt auf einer Umlaufbahn	222
Dekohärente Geschichten bilden einen Verzweigungsbaum	224
Hohe Trägheit und annähernd klassisches Verhalten	226
Fluktuationen	227
Schrödingers Katze	228
Zusätzliche Grobkönigkeit für Trägheit und der quasiklassische Bereich	230
Meßbarkeit und Messung	230
Ein IGUS – ein komplexes adaptives System als Beobachter	232
Selbstbewußtsein und freier Wille	234
Was zeichnet den quasiklassischen Bereich unserer Erfahrung aus?	236
Die Zweigabhängigkeit verfolgter Größen	238
Individuelle Objekte	239
Der proteische Charakter der Quantenmechanik	242
Gibt es viele nichtäquivalente quasiklassische Bereiche?	243
Heimstätte komplexer adaptiver Systeme	243

## **12 Quantenmechanik und unsinnige Behauptungen** 246

Einsteins Einwände gegen die Quantenmechanik	247
Verborgene Parameter	248
Bohm und Einstein	249
Das EPRB-Experiment	251
Das EPRB-Experiment und die Theorie der »verborgenen Parameter«	252
Die Verdrehung der Tatsachen	253
Ernstzunehmende potentielle Nutzenwendungen des EPRB- Effekts	254

### **13 Quarks und dergleichen: das Standardmodell 258**

- QED–Quantenelektrodynamik 258
- Teilchen-Antiteilchen-Symmetrie 260
- Quarks 261
- Eingeschlossene Quarks 264
- Farbige Gluonen 265
- Quantenchromodynamik 266
- QCD und Einfachheit 269
- Elektron und Elektron-Neutrino – die schwache Wechselwirkung 270
- Die Quantenflavordynamik und die neutrale schwache Wechselwirkung 274
- Fermionen-Familien 274
- Die Nullmassen-Näherung 278
- Große und kleine Massen (bzw. Energien) 278
- Spontane Symmetriebrechung 279
- Die Verletzung der Zeitsymmetrie 281
- Verletzung der Materie-Antimaterie-Symmetrie 282
- Spin 283
- Weshalb gibt es so viele Elementarteilchen? 283

### **14 Die Superstring-Theorie: die lange ersehnte Vereinheitlichung? 286**

- Der Niedrigmassen-Sektor 286
- Die Renormierbarkeit des Standardmodells 287
- Der Vergleich mit Beobachtungsdaten ist durchaus möglich 288
- Grundeinheiten der Energie und anderer Größen 289
- Teilchenmassen und die Grundeinheit 290
- Die Bedeutung des Begriffs »Superstring« 292
- Superpartner und neue Teilchenbeschleuniger 293
- Die Annäherung an die Planck-Masse 295
- Scheinbar viele Lösungen 296
- Wirkung 297

- Effektive Wirkung 299
- Determiniert Zufall eine bestimmte Lösung? 300
- Mehrfach-Universen? 301
- »Anthropische Prinzipien« 303
- Die Bedeutung des Anfangszustands 305

## **15 Zeitfeile: vorwärts- und rückwärtslaufende Zeit 306**

- Strahlung und Spuren 307
- Anfangszustand und Kausalität 308
- Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik 309
- Mikrozustände und Makrozustände 310
- Entropie als Unwissenheit 312
- Die endgültige Erklärung: Ordnung in der Vergangenheit 313
- Der Maxwellsche Dämon 315
- Ein neuer Beitrag zur Entropie 317
- Ausradiieren oder durch den Reißwolf jagen 319
- Entropie ohne Grobkörnigkeit ist nutzlos 320
- Die Entropie der algorithmischen Komplexität 321
- Die Zeitfeile und der Anfangszustand 322
- Das Erscheinen höherer Komplexität: eingefrorene Zufallereignisse 323
- Wird die Emergenz größerer Komplexität endlos fort dauern? 327

## **TEIL III AUSLESE UND EIGNUNG**

### **16 Auslese in der biologischen Evolution und in anderen Bereichen 333**

- Gemeinsam sich entwickelnde Spezies 335
- Punktiertes Gleichgewicht 337