

Deze waarneembare fluctuaties zijn niet voorspelbaar in de betekenis, die wij in het voorafgaande aan dit woord hebben gegeven. Men kan er echter *wel* de beschouwingen der waarschijnlijkheidsrekening op toepassen en daaruit voorspellingen afleiden omtrent de te verwachten middelwaarden en de statistische afwijkingen van die middelwaarden. Bij al onze metingen blijken nu deze fluctuaties, die uit de discontinue structuur van materie en electriciteit voortvloeien en die men ook wel *stochastische* verschijnselen noemt, een grens te stellen aan de nauwkeurigheid waarmede de waarden van observabelen kunnen worden vastgelegd. Daaruit volgt dat een exacte bepaling van de toestand en dus ook een exacte voorspelling uitgesloten is.

Toch is ook deze bedenking nog niet voldoende om het causaliteitsbeginsel te verwerpen. Men kan, teneinde het te handhaven, een onderscheid maken tussen macro-toestanden en micro-toestanden. De eerste zijn dan de schijnbaar continue toestanden, die beschreven worden door de macro-observabelen, d. w. z. de grootheden die wij door onze meetinstrumenten kunnen bepalen. Met de microtoestand bedoelen wij de bewegingstoestand van alle atomen, moleculen en electronen. Weliswaar kunnen wij deze toestand niet waarnemen in de directe betekenis van dit woord, wij kunnen ze echter wel in onze verbeelding te voorschijn roepen. Ook al kunnen wij de coördinaten en de impulsen van een enkel partikel niet in directe zin *meten* dit verhindert ons niet in de *theorie* zodanige grootheden er aan *toe te kennen*. Wij kunnen ze ook observabelen blijven noemen, want door middeling en sommering kunnen wij er grootheden uit afleiden van overeenkomstig karakter, die zich in de macro-verschijnselen als werkelijke observabelen, d. w. z. als meetbare grootheden aan ons voordoen. Tenslotte kunnen wij aan deze micro-observabelen weer exacte waarden toekennen en daarbij aan deze micro-toestanden de idee van de volkomen bepaaldheid en de exacte voorspelbaarheid verbinden. De uitermate grote gecompliceerdheid van deze toestanden en het overweldigend aantal observabelen, waardoor zij gekenmerkt zijn, noopt ons dan echter van een volledige beschrijving af te zien en gebruik te maken van de methoden der waarschijnlijkheidsrekening. Uit het aldus berekende gedrag van de statistische middelwaarden der micro-observabelen, zullen wij tot het te verwachten gedrag der macro-observabelen kunnen besluiten, zodat de metingen der macrophysica toch de toetssteen zullen kunnen zijn voor de uitkomsten der microphysica.

Dat deze metingen in sommige gebieden der macrophysica — men denke bijvoorbeeld aan de mechanica der hemellichamen — een zo hoge nauwkeurigheid kunnen verkrijgen, dat de suggestie der exacte bepaaldheid erdoor kon worden gewekt, wordt dan een begrijpelijk gevolg van het overweldigend grote aantal der micro-elementen waaruit de macro-structuren zijn opgebouwd, waardoor de statistische fluctuaties in de macro-observabelen beneden de grens der waarnemingsfouten blijven. Anderzijds vormen de zoëven besproken stochastische verschijn-