١٠

اللغة والواقع فى الفيزيقا الحديثة

على طول تاريخ العلم كانت الاكتشافات والأفكار الجديدة تسبب جدلاً علميا، كانت تؤدى إلى كتابات هجومية عنيفة تنتقد الأفكار الجديدة، ولقد كان هذا النقد دائما مفيدا فى تطويرها. لكن الجدل لم يبلغ فى عنفه أبدا مابلغه عند اكتشاف نظرية النسبية، أو ـ لدرجة أخف بعض الشيء ـ عند اكتشاف نظرية الكم. فلقد ارتبطت المشاكل العلمية فى كلتا الحالتين بالقضايا السياسية، والتجأ بعض العلماء إلى المناهج السياسية يروجون لآرائهم. لايمكننا تفهم رد الفعل العنيف بالنسبة للتطورات الأخيرة بالفيزياء الحديثة إلا إذا أدركنا أن أسس الفيزياء هنا قد بدأت تتحرك، وأن هذه الحركة قد تسببت فى الشعور بأن أسس العلم ستنهار. وهذا قد يعنى فى نفس الوقت أننا لم نجد بعد اللغة الصحيحة التى نتحدث بها عن الوضع الجديد، وأن التقارير الخاطئة التى نُشرت هنا وهناك فى فورة الحماس للاكتشافات الجديدة قد تسببت فى كل أشكال سوء التفهم. وهذه فى الحق مشكلة جوهرية. فالتقنيات المحسنة فى زماننا تضع فى متناول العلم الجديد نواحى من الطبيعة لايمكن أن توصف بلغة المفاهيم الشائعة. لكن، بأية لغة يمكننا إذن أن نصفها؟ إن أول لغة تقترح نفسها من عملية التوضيح العلمى عادة ماتكون، فى الفيزياء النظرية، لغةً رياضية، البرنامج الرياضى الذى يسمح بالتنبؤ بنتائج التجارب. فلقد يقنع الفيزيائى إذا ماتوفر لديه برنامج رياضى وعرف كيف يستخدمه فى تفسير التجارب. لكن، عليه أيضا أن يتحدث عن نتائجه إلى غير الفيزيائيين الذين لايرضون إلا إذا وضع التفسير فى لغة سهلة يفهمها الجميع. والوصف فى اللغة السهلة، حتى بالنسبة للفيزيائيين، سيكون هو المعيار لدرجة التفهم التى أمكن التوصل إليها. إلى أى مدى يكون مثل هذا التفسير ممكنا على الاطلاق؟ أيمكن أن نتحدث عن الذرة نفسها؟ إنها مشكلةُ لغةٍ مثلما

هى مشكلة فيزياء، وعلى هذا فسمة ملاحظات نجدها ضرورية تتعلق باللغة عموما، واللغة العلمية على وجه الخصوص.

شكّل الانسان اللغة فى عصور ماقبل التاريخ ليستخدمها وسيلة للاتصال وأساسا للتفكير. ونحن لانعرف إلا القليل عن خطوات تشكيلها، لكن اللغة الآن تحوى عددا كبيرا من مفاهيم تعتبر أداة ملائمة لاتصال غير غامض بين الناس بخصوص وقائع الحياة اليومية. ولقد اكتُسبت هذه المفاهيم بالتدرج دون تحليل نقدى، وذلك بممارسة اللغة، فبعد أن تُستخدم الكلمة استخداما كافيا فإنا عادة مانعتقد أننا نعرف معناها. من الحقائق المعروفة أن معنى الكلمات ليس محددا كما يبدو للوهلة الأولى، وأن مجال تطبيقها مجال محدود. فلقد نتحدث مثلا عن قطعة من الحديد أو قطعة من الخشب، لكنا لانتحدث عن قطعة من الماء. إن كلمة "قطعة" لاتصلح للمواد السائلة. وهذا مثال آخر. يحب بوهر فى مناقشاته عن حدود المفاهيم أن يروى القصة التالية: ذهب صبى إلى دكان بقال وفى يده قرش وسأله "هل يمكن أن تعطينى بهذا القرش مزيجاً من الحلوى؟". التقط البقال قطعتين من الحلوى وأعطاهما للصبى قائلا "هاك قطعتان من الحلوى، ويمكنك أن تمزجهما بمعرفتك". وإليك مثال آخر أكثر جدية للعلاقة الملغزة بين الكلمات والمفاهيم. فنحن نستخدم كلمتى "أحمر" و "أخضر"، نستخدمهما حتى لو كنا مصابين بعمى الألوان، بالرغم من أن حدود استخدام هتين الكلمتين لابد أن تختلف عند هؤلاء عنها عند غيرهم من الناس.

أُدْرِكت هذه اللامحققية الأصيلة فى معنى الكلمات مبكرا، وجلبت معها الحاجة إلى التعريفات، أو ـ كما تقول كلمة "تعريف" ـ الحاجة إلى حدود يُعَرَّف بها الموضع الذى تُستخدم فيه الكلمة والذى لاتستخدم فيه. لكن التعريفات لاتُعطَى إلا بمساعدة مفاهيم أخرى، وعلى هذا فعلينا فى النهاية أن نعتمد على بعض المفاهيم التى تؤخذ كما هى، دون تحليل ودون تعريف.

كانت مشكلة المفاهيم فى اللغة بالفلسفة الاغريقية مبحثا رئيسيا منذ سقراط، الذى كانت حياته ـ كما يقول العرض الفنى لمحاورات أفلاطون ـ مناقشةً مستمرة فى محتوى المفاهيم باللغة، وفى القصور فى أساليب التعبير. فلكى يصل أرسطو إلى أساس متين للتفكير العلمى، بدأ فى منطقه بتحليل صور اللغة، البنية الصورية لنتائجه واستنباطاته مستقلة عن محتواها. بهذه الطريقة وصل إلى درجة من التجريد والدقة غير مسبوقة فى الفلسفة الاغريقية. بذلك أسهم إسهاما كبيرا فى التوضيح، فى توطيد نظام بمناهجنا فى التفكير. لقد خلق فعلا الأساس للُّغة العلمية.

لكن هذا التحليل المنطقى للغة يتضمن خطر الإفراط فى التبسيط لحد التشويه. فنحن فى المنطق نهتم ببنى خاصة جدا، بعلاقات غير غامضة بين المقدمات والاستنباطات، بنماذج بسيطة من الاستدلال، بينما نهمل كل البنى الأخرى للغة. وهذه البنى الأخرى قد تنجم عن علاقات بين معان معينة للكلمات. فقد يكون هناك معنى ثانوى للكلمة يعبر الذهن بشكل غامض عندما تُسمع الكلمة ولكنه يسهم إسهاما جوهريا فى محتوى الجملة. أما حقيقة أن كل كلمة قد تثير الكثير من النشاط نصف الواعى فى أذهاننا، فقد تُستخدم لتمثل جزءا من الواقع فى اللغة، بشكل أوضح مما يحدث عن استخدام الأنماط المنطقية. وعلى هذا فقد اعترض الشعراء كثيرا على هذا التوكيد، فى اللغة وفى التفكير، على النمط المنطقى، التوكيد الذى قد يجعل اللغة أقل ملاءمة للغرض الذى ابتكرت من أجله - إذا صح تفهمى لآرائهم. ولقد نتذكر مثلا فى "فاوست" جوته ماقاله ميفستوفيليس للطالب الشاب:

لا تبذل زمانك سدى، إنه يمضى سريعا
سيعلمك المنهج أن تكسب الوقت
لذا أنصحك ياصديقى العزيز
أن تبدأ بدراسة المنطق!
عندئذ سيدرب ذهنك
على أن يصبح ضيقا
وأن يظل حذراً
محدد الآفاق لاينطلق
إلى شعاب جديدة
وستعلمك الأيام
أن ماكنت تفعله تلقائيا
كالأكل والشرب
هو سلسلة من العمليات المتعاقبة: واحد، اثنان، ثلاثة!
والحق أن نسيج التفكير
قد صُنع كمثل قماش الناسج

مدْوَس يحرك ألف خيط
ويندفع المكوك بسرعة غاديا رائحا
وتنساب الخيوط كثيرة دون أن تُرى
وبخبطة واحدة تتجمع ألف عقدة
ثم يأتى الفيلسوف
ويثبت لك أن الأمر لابد أن يكون هكذا
هذا أولا، ثم ذاك ثانيا
ومن ثم فلابد أن تكون هكذا ثالثا ورابعا.
فإذا لم يكن ثمة "أولا" ولا "ثانيا"
فليس ثمة "ثالثا" ولا "رابعا"
هذا مايقدره الطلبة فى كل مكان
لكنا لم نر نساجا ظهر بينهم
إن من يصف ويدرس ماهو حى
يبحث أولا عن الروح ليستبعدها:
فلايبقى بين يديه غير شظايا
تفتقر - يالوعتى - إلى رباط الروح

إن فى هذا وصفا جميلا لبنية اللغة ولضيق أفق الأنماط المنطقية البسيطة.

على أن العلم - من ناحية أخرى - يرتكز على اللغة كوسيلة للاتصال، لاغيرها. ولما كان الغموض يشكل مشكلة ذات أهمية كبيرة فى اللغة، فلابد للأنماط المنطقية أن تلعب دورها. وربما أمكننا أن نعرض الصعوبة المميزة لهذه النقطة كما يلى: إننا نحاول فى العلوم الطبيعية أن نشتق الخاص من العام، أن نفهم الظاهرة كنتيجة لقوانين عامة بسيطة. فإذا ماصيغت القوانين العامة فى صيغة لغوية فإنها لن تحوى إلا عددا محدودا من المفاهيم البسيطة - وإلا لما كان القانون بسيطا ولا كان عاما. من هذه المفاهيم تشتق تشكيلة لانهائية من الظواهر الممكنة، ليس فقط من الناحية الكيفية وإنما أيضا بدقة كاملة بالنسبة لكل التفاصيل. الواضح أن مفاهيم اللغة المألوفة - وهى ماهى من ناحية عدم الدقة، والتعريف المبهم - لن تسمح أبدا بمثل هذه الاشتقاقات. فإذا مانجمت عن المقدمات المعطاة سلسلة من الاستنباطات، فإن عدد

الحلقات المكنة بالسلسلة يعتمد على دقة هذه المقدمات. وعلى هذا فإن مفاهيم القوانين العامة لابد أن تحدد فى العلوم الطبيعية بدقة بالغة، ولايمكن أن يتم هذا إلا عن طريق التجريد الرياضى.

ولقد نقابل نفس الوضع تقريبا فى علوم أخرى، وذلك بالنسبة للحاجة إلى التعريف الدقيق - كالقانون مثلا. لكن عدد الحلقات فى سلسلة الاستنباطات هنا لايلزم أن يكون كبيرا، فالدقة الكاملة ليست مطلوبة، إنما يكفى التعريف الدقيق نوعاً ما، مصاغا فى لغة مألوفة.

نحاول فى الفيزياء النظرية أن نفهم زمر الظواهر بأن ندخل الرموز الرياضية التى يمكن ربطها بالحقائق، نعنى بنتائج القياس. إننا نستخدم أسماء لهذه الرموز تَمنح علاقاتها بالقياس صورا ذهنية. بذا فإن الرموز ترتبط باللغة. وهذه الرموز فوق ذلك تترابط بنظام متين من التعريفات والبديهيات، وفى النهاية نعبر عن القوانين الطبيعية كمعادلات بين الرموز. الحلول اللانهائية لهذه المعادلات لاتناظر إذن التنويع اللانهائى للظواهر المعنية المكنة فى هذا الجزء من الطبيعة. بهذه الطريقة يمثل المخطط الرياضى زمرة الظواهر، إلى المدى الذى تمضى إليه العلاقة بين الرموز والقياسات. إن هذا الارتباط هو الذى يسمح بالتعبير عن القوانين الطبيعية باللغة الشائعة، لأننا نستطيع دائما أن نصف تجاربنا - المؤلفة من الأفعال والملاحظات - فى لغة مألوفة.

ومع ذلك فإننا نوسع اللغة أيضا إذ نوسع المعرفة العلمية، فنبتكر مصطلحات جديدة، ونوسع من مجال استخدام المصطلحات القديمة، أو نطبقها بصورة تختلف عن اللغة المألوفة، ولعل فى مصطلحات "الطاقة"، "الكهرباء"، "الانتروبيا"، الأمثلة الواضحة. بهذه الطريقة نطور لغة علمية يمكن أن نقول إنها امتداد طبيعى للغة العادية وقد كيفت للمجالات المضافة من المعرفة العلمية.

دخل الفيزياء خلال القرن الماضى عدد من المفاهيم الجديدة، ولقد تطلب الأمر من العلماء فى بعض الحالات وقتا طويلا قبل أن يتعودوا على استخدامها. وعلى سبيل المثال فإن مصطلح "المجال الكهرومغنطيسى" - الذى كان موجودا بالفعل لحد ما فى عمل فاراداى والذى شكّل فيما بعد أساس نظرية ماكسويل - هذا المصطلح لم يقبله الفيزيائيون بسهولة، فقد وجهوا انتباههم فى المقام الأول إلى الحركة الميكانيكية للمادة - ولقد تضمن ادخال هذا المفهوم فى الحقيقة تغيرا فى الأفكار العلمية أيضا، ومثل هذه التغيرات لاتتم بسهولة.

ومع ذلك فإن كل المفاهيم التى قدمت حتى نهاية القرن الماضى قد شكلت زمرة متماسكة تماما تطبق على مجال واسع من الخبرة، وشكلت - مع ماسبقها من مفاهيم - لغةً يمكن للعلماء، بل وحتى للتقنيين والمهندسين - أن يطبقوها بنجاح فى أعمالهم. لهذه الأفكار الجوهرية التى تشكل أساس هذه اللغة، ينتمى الافتراض بأن ترتيب الوقائع فى الزمن مستقل تماما عن وضعها فى الفضاء، وبأن الوقائع "تحدث" فى الفضاء والزمن ولاعلاقة لها بوجود مراقب أو عدم وجوده. لم يُنْكَر أن لكل ملاحظة أثرا على الظاهرة تحت الفحص، لكن ثمة افتراضا عاما بأننا نستطيع أن نقلل من هذا الأثر كثيرا لو أجرينا تجاربنا باحتراس. والحق أن هذا على مايبدو كان شرطا ضروريا للموضوعية المثالية التى اعتُبرت أساسَ كل العلوم الطبيعية.

وفى هذا الجو الهادى للفيزيقا، انفجرت نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة كحركة مفاجئة فى أسس العلوم الطبيعية - إن تكن بطيئة فى البداية تتزايد بالتدريج. بدأت أول المجادلات العنيفة، حول مشاكل الفضاء والزمان التى أثارتها نظرية النسبية. كيف يمكن أن نتحدث عن الوضع الجديد؟ هل علينا أن نعتبر تقلص لورنتس للأجسام المتحركة تقلصا حقيقيا، أم تراه مجرد تقلص ظاهرى؟ هل علينا أن نقول إن بنية الفضاء والزمان تختلف عما كان مفترضا، أم أن الواجب أن نقول فقط إن النتائج التجريبية يمكن أن تربط رياضيا بطريقة تتوافق مع هذه البنية الجديدة، بينما يبقى الفضاء والزمان كما كانا دائما - الصيغة الشاملة الضرورية التى فيها تظهر لنا الأشياء؟ كانت المشكلة الحقيقية وراء هذه الخلافات العديدة هى حقيقة أنه لم يكن ثمة لغة يمكن بها أن نتحدث بطريقة مستقيمة عن الوضع الجديد. فاللغة المألوفة ترتكز على مفهومى الفضاء والزمن القديمين، وهذه هى اللغة التى تقدم الوسيلة الوحيدة غير الغامضة للاتصال، عن تصميم المقاييس ونتائجها. ورغم ذلك فقد بينت التجارب أن المفهومين القديمين لايمكن أن يطبقا فى كل مكان.

كانت نقطة البدء الواضحة لتفسير نظرية النسبية هى إذن حقيقة أن النظرية الجديدة تطابق - عمليا - النظرية القديمة عندما تكون السرعات منخفضة (منخفضة بالنسبة لسرعة الضوء). وعلى هذا، ففى هذا الجزء من النظرية، كان من الواضح كيف يمكن ربط الرموز الرياضية بالمقاييس وبمصطلحات اللغة المألوفة. والواقع أن تحويل لورنتس قد تم اكتشافه من خلال هذا الارتباط. لم يكن ثمة غموض حول معنى الكلمات والرموز فى هذه المنطقة. والحق أن هذا الارتباط كان بالفعل كافيا لتطبيق النظرية على كل مجال البحوث التجريبية المرتبطة

بمشكلة النسبية. وعلى هذا فإن القضايا الخلافية حول تقلص لورنتس "الواقعى" أو "الظاهر"، أو حول تعريف كلمة "متزامن"....إلخ، لم تكن تخص الحقائق وإنما اللغة.

أما بالنسبة للغة فلقد أدركنا بالتدريج أنه ربما كان علينا ألا نصر كثيرا على مبادىء بذاتها. يصعب دائما أن نجد معايير عامة مقنعة يلزم أن نستخدم لها مصطلحات لغوية وأن نعرف كيفية استخدامها. علينا ببساطة أن ننتظر حتى تتطور اللغة التى تكيف نفسَها بعد فترة للوضع الجديد. والواقع أن هذا التكيف فى نظرية النسبية الخاصة قد حدث فى معظمه بالفعل خلال الخمسين سنة الماضية. لقد اختفى ببساطة الفرق بين التقلص "الواقعى" و "الظاهرى" ـ مثلا. أما كلمة "متزامن" فتستعمل متوافقة مع التعريف الذى منحه إياها آينشتين، بينما نجد بالنسبة للتعريف الأوسع الذى ناقشناه فى فصل سابق، أن المصطلحَ "على مسافة شبه فضائية" مصطلحٌ شائع الاستعمال.... إلخ.

وفى نظرية النسبية العامة أنكر بعض الفلاسفة وبشدة فكرة الهندسة غير الاقليدية فى الفضاء الواقعى، وبينوا أن منهجنا فى تصميم التجارب هو بالفعل افتراض مسبق فى الهندسة الاقليدية.

والواقع أنه إذا ماحاول حرفى أن يعد سطحا مستويا مضبوطا، فإنه يستطيع أن يفعل ذلك بالطريقة الآتية: يعد أولا ثلاثة أسطح لها تقريبا نفس الحجم وتكون تقريبا مستوية، ثم يحاول أن يجعل كل اثنين من هذه الأسطح الثلاثة يتلامسان بأن يضعهما قبالة بعضهما فى مواقع نسبية مختلفة. يُعَبّر مقدار التلامس الكلى بين الأسطح عن درجة الدقة التى يمكن بها أن نقول إن الأسطح "مستوية". ولن يقنع الحرفى بالأسطح الثلاثة إلا إذا كان التلامس بين كل اثنين منها كاملا فى كل مكان. فاذا ماحدث هذا أمكن لنا أن نثبت رياضيا أن الهندسة الاقليدية تسرى على الأسطح الثلاثة. بهذه الطريقة ـ هكذا حاجوا ـ فإن مقاييسنا قد "جعلت" الهندسة الاقليدية صحيحة.

يمكن بالطبع ـ من وجهة نظر النسبية العامة ـ أن نجيب بأن هذه الحجة تثبت صحة الهندسة الاقليدية على الأبعاد الصغيرة وحدها، أبعاد أدواتنا التجريبية. ودرجة الدقة التى تحملها فى هذا النطاق عالية للغاية حتى ليمكن دائما أن تُطَبَّق العملية التى ذكرناها، لإنتاج الأسطح المستوية. لن نستطيع أن ندرك مايوجد من انحرافات بالغة الدقة عن الهندسة

الاقليدية، لأن الأسطح مصنوعة من مادة ليست صلبة تماما وإنما تسمح بالتشوهات الطفيفة جدا، ولأن مفهوم "التلامس" لايمكن أن يعرف بدقة كاملة. أما بالنسبة للأسطح على المستوى الكونى فإن العملية التى وصفناها لن تسرى، لكن هذا ليس من مشاكل الفيزياء التجريبية.

مرة أخرى سنجد أن نقطة البدء الواضحة للتفسير الفيزيقى للبرنامج الرياضى بالنسبية العامة هى حقيقة أن الهندسة تقترب جدا من الإقليدية بالنسبة للأبعاد الصغيرة ـ ففى هذه المنطقة تقترب النظرية من النظرية الكلاسيكية. وعلى هذا فإن التلازم هنا بين الرموز الرياضية والقياسات وبين المفاهيم فى اللغة المألوفة سيكون غير مبهم. ومع ذلك فإنا نستطيع أن نتحدث عن هندسة غير إقليدية بالنسبة للأبعاد الضخمة. ويبدو أن الرياضيين ـ لاسيما جاوس فى جوتنجن ـ قد فكروا بالفعل فى إمكانية وجود هندسة لا إقليدية فى الفضاء الواقعى وذلك حتى قبل ظهور النسبية العامة بوقت طويل. يقال إن جاوس عندما قام بقياسات جيوديسية دقيقة على مثلث شكّلَته جبالٌ ثلاثة ـ جبل بروكين فى جبال هارتس، وجبل إينسلبرج فى مقاطعة ثورنجيا وجبل هوهنهاجن قرب جوتنجن ـ يقال إنه راجع قياساته بدقة بالغة ليتأكد من أن مجموع زوايا المثلث الثلاث يساوى ١٨٠ درجة، وأنه قد أخذ فى حسبانه اختلافا قد يثبت إمكانية وجود انحرافات عن الهندسة الاقليدية. والواقع أنه لم يجد أية انحرافات فى حدود دقة قياساته.

تتبع اللغة التى نصف بها القوانين العامة فى نظرية النسبية العامة، تتبع الآن اللغة العلمية للرياضيين. وبالنسبة لوصف التجارب ذاتها يمكننا استخدام المفاهيم المألوفة لأن الهندسة الاقليدية تسرى بدقة كافية فى الأبعاد الصغيرة. تظهر فى نظرية الكم أعقد مشاكل استخدام اللغة. لم يكن لدينا فى البدء أى دليل بسيط نربط به الرموز الرياضية بمفاهيم اللغة الاعتيادية، كان كل مانعرفه فى البداية هو حقيقة أن مفاهيمنا الشائعة لايمكن أن تطبق على بنية الذرة. مرة أخرى بدت نقطة البداية الواضحة للتفسير الفيزيقى للصورية هى اقتراب البرنامج الرياضى لميكانيكا الكم من برنامج الميكانيكا الكلاسيكية، وذلك فى الأبعاد الأكبر كثيرا من حجم الذرات، وحتى هذا لانستطيع أن نقوله دون بعض التحفظات. فسنجد حتى تحت الأبعادِ الكبيرةِ العديدَ من الحلول للمعادلات الكماتية النظرية، والتى لانظير لها فى الفيزياء الكلاسيكية، تظهر فى هذه الحلول ظاهرة "تداخل الاحتالات" كما ذكرنا فى الفصول السابقة، وهذه ظاهرة لاتوجد فى الفيزياء الكلاسيكية. وعلى هذا، فلن يكون تافها على الاطلاق ـ حتى

داخل حدود الأبعاد الضخمة - ذلك الارتباطُ بين الرموز الرياضية والقياسات والمفاهيم المألوفة. ولكى نصل إلى مثل هذا الارتباط غير الملتبس علينا أن ندخل فى اعتبارنا ملمحا آخر من ملامح المشكلة. علينا أن نلاحظ أن النمط الذى تعالجه مناهج ميكانيكا الكم هو فى الحقيقة جزء من نظام أكبر (حدوده العالم بأسره)، أنها تتفاعل مع هذا النظام الأكبر، ولابد أن نضيف أن الخصائص الميكروسكوبية للنظام الأكبر مجهولة - إلى حد كبير على الأقل. لاشك أن هذا وصف صحيح للوضع الواقعى. ولاستحالة أن يكون هذا النظام موضوع قياس وتفحصات نظرية، فإنه لن ينتمى إلى عالم الظواهر مالم يكن يتفاعل مع مثل هذا النظام الأرحب، الذى يمثل المراقب جزءا منه. والتفاعل مع النظام الأكبر هذا بخصائصه الميكروسكوبية غير المحددة يقدم إذن إلى وصف النظام (الكماتى - النظرى والكلاسيكى) عاملا احصائيا جديدا. وفى الحالة الحدية للأبعاد الكبيرة يحطّم هذا العاملُ الاحصائى آثارَ و "تداخل الاحتمالات" حتى ليقترب البرنامج "الكماتى - الميكانيكى" الآن من البرنامج الكلاسيكى فى الوضع الحدى. وعلى هذا يصبح الارتباط عند هذه النقطة بين رموز نظرية الكم ومفاهيم اللغة الاعتيادية غير مبهم، ويصبح هذا الارتباط كافيا لتفسير التجارب. أما المشاكل الباقية فتهم اللغة لاالوقائع، لأنها تنتمى إلى مفهوم "الواقعة" الذى يمكن وصفه باللغة الاعتيادية.

لكن مشاكل اللغة هنا خطيرة حقا. إننا نود أن نتحدث بشكل ما عن بنية الذرات، وليس فقط عن "الوقائع" - وهذه الأخيرة قد تكون مثلا البقع السوداء على لوحة فوتوغرافية أو قطيرات الماء فى غرفة سحابية. لكنا لانستطيع أن نتحدث عن الذرات بلغتنا المألوفة.

يمكن أن نستمر فى التحليل الآن بطريقتين مختلفتين. فقد نسأل: أية لغة للذرات قد تطورت بين الفيزيائيين خلال الثلاثين سنة التى مرت منذ صياغة ميكانيكا الكم. أو قد نصف محاولات تحديد لغة علمية دقيقة تتوافق مع البرنامج الرياضى.

لإجابة السؤال الأول قد نقول إن مفهوم التتام الذى قدمه بوهر إلى تفسير نظرية الكم قد شجع الفيزيائيين على استخدام لغة غامضة، أن يستخدموا المفاهيم الكلاسيكية بطريقة مبهمة بعض الشىء تتفق مع مبدأ اللامحققية، أن يطبقوا بالتعاقب مفاهيم كلاسيكية مختلفة تقود إلى تناقض إن استخدمت متزامنة. بهذه الطريقة يمكننا أن نتحدث عن المدارات الإلكترونية، عن موجات المادة وكثافة الشحنة، عن الطاقة وكمية الحركة.... إلخ، مدركين دائما حقيقة أن لهذه المفاهيم مجالا محدودا جدا من التطبيق. فإذا ماقاد هذا الاستخدام الغامض غير النظامى

للُّغة إلى صعوبات، فعلى الفيزيائى أن ينسحب إلى البرنامج الرياضى وعلاقته غير الغامضة مع الوقائع التجريبية.

واستخدامنا للغة هكذا يرضى من أوجه شتى، فهو يذكرنا باستخدام للُّغة مشابه فى الحياة اليومية أو فى الشعر. إننا ندرك أن وضع التتام لايقتصر على العالم الذرى وحده، إننا نقابله عندما نتفكر فى فرار وفى الدوافع وراء قرارنا، أو عندما نُخَيَّر بين أن نستمتع بالموسيقى أو أن نحلل بنيتها. من ناحية أخرى سنجد أن المفاهيم الكلاسيكية، عندما تقدم بهذا الشكل، تستبقى دائما غموضا مؤكدا، هى لاتكتسب فى علاقتها بالواقع غير نفس الأهمية الاحصائية لمفاهيم الثرموديناميكا فى تفسيرها الاحصائى. وعلى هذا فقد يفيد أن نقدم مناقشة قصيرة لهذه المفاهيم الاحصائية الثرموديناميكية.

يبدو أن مفهوم "درجة الحرارة" فى الثرموديناميكا الكلاسيكية إنما يصف وجها موضوعيا من أوجه الواقع، خصيصةً موضوعية للمادة. يسهل علينا فى حياتنا اليومية بمساعدة الترمومتر أن نعرف مانعنيه بدرجة حرارة قطعة من المادة. لكنا إذا حاولنا أن نعرف ماتعنيه حرارة ذرة، حتى فى الفيزياء الكلاسيكية، فسنقع فى ورطة عويصة. الواقع أننا لانستطيع أن نربط فكرة "درجة حرارة الذرة" هذه بأية خصيصة واضحة المعالم للذرة، وعلينا أن نربطها - جزئيا على الأقل - بمعرفتنا القاصرة عنها. يمكننا أن نربط قيمة الحرارة ببعض التوقعات الاحصائية المعينة عن خصائص الذرة، لكن سيصعب على مايبدو أن نعرف ما إذا كان لنا أن نسمى التوقع موضوعيا. إن تعريف مفهوم "درجة حرارة الذرة" لايشبه إلا مفهوم "المزج" فى قصة الصبى الذى اشترى مزيجا من الحلوى.

بنفس الشكل سنجد فى نظرية الكم أن كل المفاهيم الكلاسيكية، عندما تطبق على الذرة، لها من التحديد مثل ما "لدرجة حرارة الذرة". هى ترتبط بالتوقعات الاحصائية، ولا يصبح التوقع معادلا لليقين إلا فيما ندر، مرة أخرى - وكما فى الثرموديناميكا الكلاسيكية - يصعب أن نسمى التوقع موضوعيا. ربما أسميناه مَيْلاً موضوعيا أو إمكانا موضوعيا، أو "بوتنشيا" بالمعنى الأرسطى. والحق أننى أعتقد أن اللغة التى يستعملها الفيزيائيون بالفعل عندما يتحدثون عن الوقائع الذرية، تحدث فى أذهانهم أفكارا مشابهة لمفهوم "البوتنشيا". وعلى هذا تعوَّد الفيزيائيون بالتدريج على ألا يعتبروا المدارات الإلكترونية... إلخ واقعاً، وإنما نوعا من "البوتنشيا". لقد كَيفت اللغةُ نفسَها بالفعل - إلى حد ما على الأقل - لهذا الوضع الحقيقى.

لكنها ليست لغة دقيقة يمكن أن نستخدمها فى النماذج المنطقية السوية. هى لغة تنتج صورا فى الذهن، تصطحب معها معنى، يقول إن الصور ليس لها إلا ارتباط غامض بالواقع، إنها تمثل مجرد اتجاه نحو الواقع.

قاد غموض هذه اللغة المستخدمة بين الفيزيائيين إلى محاولات لتعريف لغة أخرى دقيقة تتبع أنماطا منطقية محددة تكون على انسجام كامل مع البرنامج الرياضى لنظرية الكم. ويمكن تلخيص المحاولات التى قام بها بيركهوف ونويمان، ثم فايتسيكر مؤخرا - فى القول إنه من الممكن أن يفسر البرنامج الرياضى لنظرية الكم على أنه امتداد أو تحوير للمنطق الكلاسيكى. هناك فى المنطق الكلاسيكى مبدأ جوهرى بالتحديد يتطلب التحوير: إذ يَفترض المنطق الكلاسيكى أنه إذا كان للتعبير أى معنى على الإطلاق فلابد أن يكون هو أو نقيضه صحيحا. فمن بين التعبيرين: "توجدهنا منضدة" و "لاتوجد هنا منضدة" لابد أن يكون الأول أو الثانى صحيحا، وليس ثمة امكانية ثالثة. يجوز ألاّ نعرف إن كان التعبير أو نقيضه هو الصحيح، لكن تعبيراً منهما سيكون فى "الواقع" صحيحا.

علينا فى نظرية الكم أن نحور قانون "ليس ثمة امكانية ثالثة". طبيعى أننا نستطيع أن نجادل فورا ضد أى تحوير لهذا المبدأ الجوهرى بالقول إن هذا المبدأ مفترض فى اللغة الشائعة، وأن علينا على الأقل أن نتحدث عن تحويرنا النهائى للمنطق فى اللغة المألوفة، وعلى هذا يصبح من التناقض الذاتى أن نصف فى لغة مألوفة برنامجا منطقيا لاتلائمه اللغة المألوفة. على أن فايتسيكر قد أبرز هنا أن لنا أن نميز مستويات مختلفة للغة.

ثمة مستوى يتعلق بالموضوعات - بالذرات مثلا أو الإلكترونات. وثان يتعلق بالتقارير عن الموضوعات. وثالث قد يتعلق بالتقارير عن التقارير عن الموضوعات... إلخ. من الممكن إذن أن توجد نماذج منطقية مختلفة عند المستويات المختلفة. صحيح أننا لابد أن نرجع فى النهاية الى اللغة المألوفة، ومن ثم إلى النماذج المنطقية الكلاسيكية، لكن فايتسيكر يقترح أن المنطق الكلاسيكى قد يكون بنفس الشكل قَبْلِيًّا للمنطق الكماتى، مثلما الفيزياء الكلاسيكية لنظرية الكم. المنطق الكلاسيكى يضمّن إذن كحالة حدية فى المنطق الكماتى، لكن الأخير يشكل النموذج المنطقى الأكثر عمومية.

التحوير المطلوب للنموذج المنطقى الكلاسيكى يتعلق إذن بالمستوى الأول الخاص بالمواضيع. دعنا نتأمل ذرة تتحرك داخل صندوق مغلق به حائط يقسمه الى قسمين متساويين. بالحائط ثقب صغير جدا يمكن للذرة أن تعبر من خلاله. ستوجد الذرة تبعا للمنطق الكلاسيكى فى النصف الأيسر أو فى النصف الأيمن من الصندوق. وليس ثمة امكانية ثالثة. على أننا فى نظرية الكم لابد أن نسلم - إذا كان لنا أن نستعمل أصلا كلمتى "ذرة" و "صندوق" - بأن هناك إمكانات أخرى كل منها مزيج غريب من الإثنين الأولين. إن هذا أمر ضرورى لتفسير تجاربنا. دعنا مثلا نراقب الضوء الذى يستطير بسبب الذرة. يمكننا اجراء تجارب ثلاث: فى الأولى تكون الذرة محبوسة (عن طريق اغلاق الثقب مثلا) فى النصف الأيسر من الصندوق، وسنقيس بها كثافة توزيع الضوء المستطار. فى التجربة الثانية تكون الذرة محبوسة فى النصف الأيمن فنقيس ثانية الضوء المستطار. وفى الأخيرة سنترك للذرة حرية التحرك فى الصندوق بأكمله لنقيس مرة ثالثة كثافة توزيع الضوء المستطار. فإذا بقيت الذرة دائما فى النصف الأيسر أو الأيمن من الصندوق، فإن التوزيع الأخير للكثافة لابد أن يكون مزيجا (تحدده نسبة الوقت الذى تقضيه الذرة فى كل من النصفين) من توزيعى الكثافة الأولين. لكن هذا - تجريبيا - ليس صحيحا على وجه العموم. إن توزيع الكثافة فى الواقع يحوره "تداخل الاحتمالات". ولقد ناقشنا هذا بالفعل.

للتغلب على هذا الوضع أدخل فايتسيكر مفهوم "درجة الحقيقة". فبالنسبة لأى تعبير بسيط فى أى خيار مثل "توجد الذرة فى النصف الأيسر (أو الأيمن) من الصندوق" - هناك عدد مركب يُعَرَّف بأنه مقياس "لدرجة الحقيقة". فإذا كان العدد هو واحداً فمعنى ذلك أن التعبير حقيقى، وإذا كان صفرا كان التعبير خاطئا. لكن ثمة قيما أخرى ممكنة. والمربع المطلق للعدد المركب يمثل احتمال أن يكون التعبير صحيحا، وحاصل جمع احتمالى طرفى الخيار ("الأيسر" أو "الأيمن" فى حالتنا هذه) لابد أن يساوى الوحدة. لكن كل زوج من الأعداد المركبة - الخاصة بطرفى الخيار - يمثل تبعا لتعريف فايتسيكر "تعبيرا" لابد أن يكون حقيقيا إذا كان للأعداد بالضبط هذه القيم. فالعددان - على سبيل المثال - يكفيان لتحديد كثافة توزيع الضوء المستطار فى تجربتنا. فإذا سمحنا باستخدام مصطلح "تعبير" بهذه الطريقة فمن الممكن أن نقدم مصطلح "تتام" بالتعريف التالى: كل تعبير لايتطابق مع أى من تعبيرى الخيار (وفى حالتنا هما التعبير "توجد الذرة بالنصف الأيسر" و "توجد الذرة بالنصف الأيمن من الصندوق") يسمى متمما لهذين التعبيرين، وتكون قضية وجود الذرة فى اليسار أو فى اليمين بالنسبة لكل تعبير

متمم أمرا غير محسوم. لكن المصطلح "غير محسوم" لايعادل أبدا المصطلح "غير معلوم". فالمصطلح "غير معلوم" إنما يعنى أن الذرة توجد "واقعيا" فى النصف الأيسر أو الأيمن، لكنا لانعرف أين توجد. أما مصطلح "غير محسوم" فيشير إلى وضع مختلف، لايفصح عنه الا تعبير تتام.

وهذا النموذج المنطقى العام، والذى لايمكن أن نصف تفاصيله هنا، يتوافق بدقة مع الصورية الرياضية لنظرية الكم، إنه يشكل الأساس للغة دقيقة يمكن استخدامها فى وصف بنية الذرة. لكن تطبيق مثل هذه اللغة يثير عددا من المشاكل العويصة، سنناقش منها اثنين: العلاقة بين "المستويات" المختلفة للغة، والنتائج بالنسبة للأنطولوجيا التحتية.

والعلاقة بين المستويات المختلفة للغة فى المنطق الكلاسيكى هى علاقة تناظر متكافئة. فالتعبيران "توجد الذرة فى النصف الأيسر" و "من الصحيح أن الذرة توجد فى النصف الأيسر" ينتميان منطقيا إلى مستويين مختلفين. والتعبيران فى المنطق الكلاسيكى متكافئان تماما، نعنى أنهما سويا اما أن يكونا صحيحين أو زائفين. فلايمكن أن يكون أحدهما صحيحا والآخر زائفا. أما فى النموذج المنطقى للتتام فسنجد العلاقة أكثر تعقيدا. فصحة أو عدم صحة التعبير الأول يتضمن لايزال صحة أو عدم صحة الثانى. لكن عدم صحة التعبير الثانى لايفيد ضمنا عدم صحة الأول. فإذا كان التعبير الثانى غير صحيح، فقد لايكون وجود الذرة فى النصف الأيسر قد حُسم بعد، إذ لايلزم بالضرورة أن تكون الذرة فى النصف الأيمن. لايزال ثمة تكافؤ كامل بين مستويى اللغة بالنسبة لصحة التعبير، لكن ليس بالنسبة لعدم صحته. من هذه العلاقة يمكن أن نفهم استمرار بقاء القوانين الكلاسيكية فى نظرية الكم: فحيثما يمكن استنباط نتيجة لا لبس فيها فى تجربة عن طريق تطبيق القوانين الكلاسيكية، لزم أيضا أن تظهر النتيجة فى نظرية الكم، وستصح تجريبيا.

كان الهدف الأخير لمحاولة فايتسيكر هى تطبيق النماذج المنطقية المحورة أيضا فى المستويات الأعلى للغة. لكنا لانستطيع مناقشة هذه القضايا هنا.

أما المشكلة الأخرى فتختص بالأنطولوجيا التى تشكل أساس النماذج المنطقية المحوَّرة. فإذا كان ثمة زوج من الأعداد المركبة يمثل "تعبيرا" بالمعنى الذى شرحناه حالا، فلابد من وجود "حال" أو "وضع" فى الطبيعة يكون فيه التعبير صحيحا. وسنستعمل نحن كلمة "حال". أطلق فايتسيكر على "الأحوال" المناظرة للتعبيرات المتتامة اسم "أحوال المَعِيَّة". وهذا المصطلح

يصف الوضع وصفا صحيحا، فالواقع أنه يصعب أن نسميها "أحوالاً مختلفة"، لأن كل حال يتضمن أيضا ولحد ما "أحوال المعية" الأخرى. يشكل مفهوم "الحال" هذا تعريفا أوليا يختص بأنطولوجيا نظرية الكم. سنرى على الفور أن استخدامنا هذا لكلمة "حال" ـ لاسيما في مصطلح "حال المعية" ـ يختلف كثيرا عن الأنطولوجيا المادية العادية، حتى لقد نشك في صلاحية المصطلح للاستخدام. من ناحية أخرى سنجد أننا إذا أخذنا كلمة "حال" على أنها تصف إمكانيةً ما، لاواقعا ـ بل لقد نستبدل حتى كلمة "امكانية" بكلمة "حال" ـ عندئذ يصبح مفهوم "إمكانيات المعية" مقبولا حقا، لأن الامكانية قد تتضمن أو تتراكب مع إمكانات أخرى.

من الممكن أن نتجنب كل هذه التعريفات الصعبة والتميزات إذا اقتصرت اللغة على وصف الوقائع، نعني نتائج التجارب. لكنا إذا رغبنا في التحدث عن الجسيمات الذرية نفسها، فعلينا إما أن نستخدم البرنامج الرياضي كإضافة وحيدة إلى اللغة الاعتيادية، أو أن نقرنها بلغة تستخدم منطقاً محوراً أو منطقاً غير معروف تعريفا جيدا. في التجارب عن الأحداث الذرية، نحن نتعامل مع الأشياء والوقائع، مع ظواهر لها من الواقعية مثل مالظواهر الحياة اليومية. لكن الذرات أو الجسيمات الأولية ذاتها ليس لها نفس الواقعية. إنها تشكل عالما من الامكانات والاحتمالات، لا عالما من الأشياء والوقائع.