

آنتروپی، آنتروپی منفی، و اطلاعات

دکتر نرگس نشاط

استادیار سازمان اسناد و کتابخانه ملی

چکیده

مفهوم اطلاعات در سیر توسعه خود با مفهوم آنتروپی که محققان ترمودینامیک در قرن نوزدهم ابداع کرده‌اند پیوند یافته است و از این منظر، اطلاعات عبارت از نظم یا نگانتروپی است. از سوی دیگر، آنتروپی با مفاهیمی همچون هیاهو و اختلال که مولد بی نظمی است نیز همبسته است. در این مقاله، هریک از مفاهیم مورد اشاره و رابطه آنها در بستری متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: آنتروپی. نگانتروپی. اختلال. شیطانک ماکسول. آنتروپی منفی. نظریه

کوانتومی اطلاعات

مقدمه

اصل اول ترمودینامیک برای انرژی موجودیتی از بین نرفتنی قائل بود، زیرا می توانست از حالتی به حالت دیگر تبدیل شود.

اصل دوم، که کارنو^۱ آن را مطرح و کلوسیوس^۲ فرموله کرد، نه تنها ایده اتلاف- که با اصل اول در تضاد بود- بلکه زوال و از بین رفتن انرژی را مطرح ساخت. طبق این اصل، تمام اشکال انرژی می تواند از یکی به دیگری تبدیل شود و در نتیجه این تبدیل، مقداری از قابلیت انجام کار را از دست می دهد. کلوسیوس، این کاهش جایگزین نشدنی قابلیت تبدیل و انجام کار را که خاص حرارت بود آنتروپی^۳ نامید. از آن پس، هر نظامی که از انرژی بیرونی تغذیه نمی کند، نظام "بسته" تلقی می شود، و هر تبدیلی در آن، ضرورتاً افزایش آنتروپی را با خود همراه می آورد و مطابق اصل دوم، این زوال برگشتناپذیر وقتی به حداکثر رسید حالت تجانس و تعادل حرارتی به خود می گیرد و از آن پس قابلیت کار و امکانات تبدیل را از دست می دهد (ریفکین، ۱۳۷۴، ص ۵۴).

اصل دوم نه تنها در چارچوب کار بلکه در چارچوب نظم و بی نظمی و در نتیجه در چارچوب سازمان و بی سازمانی نیز مطرح گردید. چون نظم نظام با سازمانی شکل می گیرد که عناصر نامتجانس را در کل واحد هماهنگ می کند. به این اعتبار، آنتروپی پنداره ای تلقی می شود که در آن واحد معانی زیر را می دهد: زوال انرژی، زوال نظم، و زوال سازمان.

در اینجا، بولتزمن^۴ رهیافت تازه ای مبنی بر احتمال آماری ارائه داد. از این دیدگاه، ترکیبات بی نظم احتمال حضور بیشتری دارند تا ترکیبات منظم (ادامی^۵، ۲۰۰۴). بدین ترتیب، افزایش آنتروپی به گذار از ترکیبات کمتر محتمل به بیشتر محتمل تبدیل گردید.

1. Carnot

2. Clausius

3. Entropy "برگرفته از واژه ای یونانی به معنی "به درون خود می روم"

4. Boltzmann

5. Adami, Christoph

اما اینکه هر یک از مفاهیم مورد اشاره، در حوزه اطلاعات و اطلاع رسانی که با نظام‌های مشاهده کننده و تجلیات ذهن انسانی سروکار دارد چگونه تبیین می‌گردد موضوع مقاله حاضر است.

اطلاعات و آنتروپی

علاوه بر کار، حرارت، و انرژی، مفهوم اطلاعات نیز در سیر توسعه خود با مفهوم قدیمی آنتروپی که محققان ترمودینامیک در قرن نوزدهم ابداع کرده‌اند پیوند یافته است: اطلاعات عبارت از نظم یا نگاتروپی^۱ است. اما آنتروپی، که برخی خصایص ابژه‌های فیزیکی را آشکار می‌کند، وقتی با اطلاعات و تجلیات ذهنی پیوند می‌یابد خصلت خود را به گونه‌ای دیگر به نمایش می‌گذارد. در اینجا، آنتروپی به فقدان اطلاعات مشاهده‌گر درباره نظامی که مورد بررسی قرار می‌دهد تبدیل می‌شود؛ حداکثر آنتروپی، حداکثر نادانی است. به عبارت دیگر، آنتروپی در برداشت بسیار رایج خود نه تنها بی‌نظمی یا نبود سازمان در یک نظام فیزیکی، بلکه کاهش اطلاعات مشاهده‌گر درباره موضوع مورد مشاهده خود را نیز می‌سنجد.

عباس حُرّی رابطه آنتروپی و اطلاعات را از دو دیدگاه مطرح کرده است:

الف. هرچه آنتروپی بیشتر باشد، برای رفع آن، نیاز به اطلاعات بیشتری است. اگر اطلاعات از منبعی به منبع دیگر جریان پیدا نکند آنتروپی در حد بالاست؛ و در نتیجه کاری نیز صورت نخواهد گرفت. در اینجا آنتروپی بر مبنای اصل رابطه بین گرما و کار، منبع گرم و سرد، داده (ورودی) و ستاده (خروجی) بنا شده است. رابطه‌ای که در تئوری همواره قابل محاسبه و اندازه‌گیری است.

ب. هرچه آنتروپی بیشتر باشد حضور اطلاعات در سیستم کمتر است، یعنی سطح دو منبع ارسال کننده و دریافت کننده به هم نزدیک‌تر است (حُرّی، ۱۳۸۱، ص ۲۳۳-۲۳۴).

اساساً تفاوت بنیادی میان ارگانیسم‌های زنده، به مثابه ماشین‌های طبیعی، و ماشین‌های مصنوعی، حتی ماشین‌های بسیار پیشرفته مانند کامپیوتر که به وسیله انسان ساخته شده‌اند مسئله بی‌نظمی، هیاهو، و اختلال است. به نظر می‌رسد که بی‌نظمی پدیده‌ای است که از تضاد متابعت می‌کند و نه از نظام جبری، یعنی از کاربرد دقیق مکانیکی نیروها بر حسب طرح‌های از پیش تعیین شده سازمان پیروی نمی‌کند. "هیاهو" در معنای ارتباط، به اختلالی گفته می‌شود که انتقال اطلاعات را دستخوش دگرگونی یا به هم ریختگی کند. اختلال، هر نوع دریافت نادقیق اطلاعات از منظر گیرنده آن است. بنابراین، در ماشین مصنوعی، بی‌نظمی، هیاهو، یا اختلال، آنتروپی سیستم را افزایش می‌دهد؛ یعنی سبب زوال و فرسایش و نابسامانی آن می‌شود. به عبارت دیگر، مفهوم آنتروپی با مفهوم هیاهو و اختلال (مولد بی‌نظمی) نیز همبسته است. حال هر یک از مفاهیم مورد اشاره را در زیر بررسی خواهیم کرد:

الف. شیطانک ماکسول و افزایش نظم

مسئله بالا بردن درجه نظم و نتیجتاً افزایش درجه سازماندهی وضع انرژی یک سیستم فیزیکی در سال ۱۸۷۱، توسط کلرک ماکسول، در کتابش "نظریه حرارت"، به شکل تعارضی که با قانون دوم ترمودینامیک ناسازگار است، خیلی روشن تدوین یافت (ریفکین، ۱۳۷۴، ص ۵۹-۶۰).

ماکسول می‌گفت موجودی، "شیطانی"، را آن قدر کامل در نظر بگیرید که بتواند حرکت هر مولکول گازی را که ظرفی را پر می‌کند دنبال کند. آن وقت فرض کنید که این ظرف به وسیله مانعی به دو قسمت A و B تقسیم شده، و بر روی این مانع دریچه‌ای نصب گردیده باشد که وقتی باز است مولکول‌ها بتوانند از یک قسمت ظرف به قسمت دیگر آن گذر کنند.

فرض کنید در آغاز، این ظرف با گاز و دمایی مشخص کاملاً پر شده، که طبق نظریه جنبشی حرارت با یک سرعت متوسط مشخص مولکول‌ها مطابقت داشته باشد. چون حرکت مولکول‌های گاز طبیعتی تصادفی دارد، لذا مولکول‌هایی که سرعتشان بیشتر از

سرعت متوسط و مولکول‌هایی که سرعت آنها کمتر از این سرعت باشد در این ظرف وجود خواهند داشت. در این صورت، شیطانک با باز کردن دریچه در لحظات زمانی مناسب می‌تواند این امکان را فراهم آورد تا مولکول‌های تندتر از قسمت A به B و مولکول‌های کندتر از قسمت B به A گذر کنند، و در نتیجه با این کار، بدون صرف انرژی، دمای قسمت B را افزایش و دمای قسمت A را کاهش می‌دهد (ادامی^۱، ۲۰۰۴).

هرگاه در نظر گرفته شود که برای کنترل دریچه در رابطه با حرکت مولکول‌ها وجود اطلاعات سودمند ضروری است تعارض فوق‌الذکر بیشتر نمایان می‌شود. زیرا بدون صرف یک مقدار مشخص انرژی (که از انرژی به دست آمده از جدا کردن مولکول‌ها به مولکول‌های "تند" و "کند" بیشتر است) این اطلاعات را نمی‌توان به دست آورد. اگر سیستم متشکل (از ظرف، گاز، مانع، و شیطانک) را در یک حالت تعادل ترمودینامیکی در نظر بگیریم، یعنی در رابطه با تبدیل انرژی یا گذار از یک قسمت به قسمت دیگر سیستم هیچ فرایندی وجود نداشته باشد، آن وقت اصولاً حرکت مولکول‌ها قابل ردیابی نخواهد بود؛ زیرا دیگر چنین سیگنال‌هایی که بتوانند به عنوان منبع اطلاعات خط سیر و سرعت مولکول‌ها را دنبال کند وجود ندارد. برای آنکه شیطانک بتواند حرکت مولکول‌ها را تخمین بزند باید دست کم آنها را ببیند، و برای این منظور روشنیایی لازم است. اما منبع روشنیایی سیستمی است که در حالت تعادل نیست و نمی‌تواند بدون صرف انرژی کار کند.

به این ترتیب، می‌بینیم که مقدار انرژی لازم برای به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز بیشتر از آن چیزی است که از به کار بردن آن به دست می‌آید؛ و از این رو، هیچ تخرافی از قانون دوم ترمودینامیک صورت نگرفته است.

از مثالی که مورد بررسی قرار گرفت می‌توان دریافت که حتی یک چنین سیستم منظم ابتدایی مانند جدا کردن مولکول‌های "تند" از مولکول‌های "کند" گاز بدون وجود اطلاعات، که برای به دست آوردن آن لازم است آنتروپی منفی وارد سیستم کرد،

غیرممکن است. بدیهی است این موضوع در مورد سیستم‌های پیچیده‌تر، که افزایش نظم در آنها مستلزم ورود جریانی از آنتروپی منفی از محیط پیرامون به داخل آنهاست نیز صدق می‌کند.

ویژگی جالب دیگر، در ردّ امکان وجود شیطانک ماکسول، به ایجاد یک رابطه فیزیکی مستقیم بین اطلاعات و آنتروپی می‌انجامد. این رابطه محاسبه کمیّت کمینه آنتروپی منفی لازم برای به دست آوردن هر واحد اطلاعات را امکان‌پذیر می‌سازد. اگر آنتروپی S برحسب "ارگ بر دگ"^۱، $\frac{\text{ارگ}}{\text{دگ}}$ ، و اطلاعات برحسب "بیت" اندازه گرفته شوند، آن وقت نمو^۲ آنتروپی سیستم، ΔS ، به علت نمو اطلاعات راجع به حالت آن، ΔI ، تقریباً برابر است با

$$\Delta S \approx -10^{-16} \Delta I \frac{\text{ارگ}}{\text{دگ}}$$

از رابطه فوق دیده می‌شود که برای اعمال نفوذ چشمگیر بر توازن انرژی سیستمی که مؤلفه‌های فردی در آن از نظم $\frac{\text{ارگ}}{\text{دگ}}$ برخوردارند، مقدار اطلاعات باید به مرتبه‌ای بزرگ (از مرتبه ۱۰۱۶ بیت) برسد. در سیستم‌های مصنوعی، ما با جریان‌های به مراتب کمتری از اطلاعات عمل می‌کنیم. از این رو، مثلاً، مقدار اطلاعات موجود در مدار مربوط به یک سیستم پیچیده که از ۱۰۰۰ عنصر تشکیل شده و هر عنصر ممکن است با عنصر دیگر تا ۱۰ پیوند داشته باشد، روی هم رفته $10^5 \times 33$ بیت است، که از یک‌هزار میلیونیم یک واحد آنتروپی کوچک‌تر است. با این وجود، یک چنین تأثیر کوچک ظاهراً بی‌اهمیت اثر اساسی بزرگی دارد و تحت شرایطی مشخص می‌تواند چشمگیر باشد. به

۱. $\frac{\text{erg}}{\text{deg}}$ در واقع، واحد اندازه‌گیری آنتروپی بر حسب واحد انرژی یا واحد کار است، و در اینجا صورت کسر بر درجه حرارت
حسب $\frac{\text{erg}}{\text{deg}}$ بیان شده که معادل یک دین سانتی متر است. ارگ واحد بسیار کوچکی است. انرژی حرکت مگسی که در پرواز است چندین ارگ است. آنتروپی مفهومی مجرد نیست و همان طور که طول میله‌ای را می‌توان اندازه گرفت مقدار آنتروپی نیز سنجش‌پذیر است.

همان ترتیبی که تأثیر سرعت بر جرم یک جسم، که به وسیله نظریه نسبیت ثابت شده، نیز مهم تلقی گردیده است. به ویژه، جریان آنتروپی منفی برای ارگانیسم‌های زنده با ساختار پیچیده طی انتقال اطلاعات ممکن است با تغییرات آنتروپی سیستم متناسب باشد.

بنابراین، پارادوکس "شیطانک ماکسول" در چارچوب گیرنده و نظام‌های مشاهده‌گر غیرقابل حل است و تنها در فرانظامی می‌توان آن را توضیح داد که نظام -گیرنده- و محیط خود را در هم ادغام کند. آنچه این نمایش فاقد آن است بُعد سازمانی است. فقدان این امر که فرانظام نه تنها با گیرنده و محیطش، بلکه با مجموعه گیرنده -شیطانک- محیط تشکیل می‌شود. حضور شیطانک، گیرنده را به ماشین مصنوعی تبدیل می‌کند. معمای ماکسول نه تنها با مداخله اطلاعات، بلکه با تبدیل نظام بسته به ماشین زاینده حل می‌گردد.

ب. هیاو و اختلال

ارگانیسم زنده، علی‌رغم و همراه با بی‌نظمی و اختلال کار می‌کند؛ که اینها الزاماً فرساینده نیستند بلکه می‌توانند حتی احیاءکننده نیز باشند (نویمان^۱، ۱۹۶۶). به عبارت دیگر، ماشین زنده، در مجموع، از توانایی زیادی برای زندگی برخوردار است. هرچند که واحدهای متشکله آن به راحتی زوال می‌پذیرند. ولی این تناقض زمانی رفع می‌شود که سازمان سیستم زنده را به مثابه فراگرد خود تولیدکننده دائمی یا همان‌طور که ماتوراننا^۲ بیان می‌کند سیستم خودآفرینی^۳ در نظر بگیریم که آنتروپی را به‌طور دائم در درون خود جذب و دفع می‌کند و به صدمه‌های نابسامان‌کننده محیط پاسخ می‌دهد. سازمان زندگی مبتنی بر اصل پیچیدگی^۴ است؛ پدیده تجدید سازمان دائمی‌ای که در مقایسه با ماشین‌ها به ماشین‌های زنده نرمش و آزادی داده است. در حالی که ماشین

1. Neuman(Von)

2. Maturana

3. Autopoiesis

4. Complexity

مصنوعی باید به طور کاملاً جبری و طبق دستورالعمل کار کند، نظام خود سازمان دهنده (خودسازه) آن قدر پیچیده است که کمتر اسیر جبر است، تا جایی که اجزای متشکله آن از استقلال نسبی برخوردارند و مکمل بودن آنها نمی تواند از وجه تجربی و منطقی جدا از رقابت یا تضاد میان آنها باشد؛ یعنی تا حدی دستخوش "هیاهو" است. هیاهو نه تنها با کارکرد بلکه بیشتر با تکامل نظام زنده در ارتباط است. به طور مثال، جهش، نوعی اختلال محسوب می شود که می تواند در لحظه انتقال پیام ژنتیک از طریق نسخه برداری در "هیاهو" در اطلاعات ارسال شده باعث اختلال شود، اختلالی که در نظام زنده جدید تغییر ماهیت ایجاد می کند. بنابراین، در موارد خاصی، "هیاهو" سبب نوآوری و پیچیدگی بیشتر می شود. اختلال در این مورد نه تنها اطلاعات را کاهش نمی دهد، بلکه آن را غنی تر می سازد و به جای آنکه بی نظمی محتوم ایجاد کند نظم تازه ای به وجود می آورد (فورستر، ۱۹۶۲).

تصادف و جهش، به جای بی نظم کردن نظام، نقش سازمان دهنده را ایفا می کند. این فراگرد هرچند هم که برای مشاهده گر غیر قابل هضم باشد، چیزی جز فراگردی مختل کننده که با هیاهو ایجاد شده باشد نیست؛ فراگردی که به نوبه خود سازمانی جدید بر بنیانی تازه ایجاد می کند. بنابراین، تغییر و نوآوری در نظم زنده را نمی توان جز بی نظمی غنی کننده در نظر گرفت؛ زیرا که این بی نظمی خود منشأ پیچیدگی می شود.

به بیان دیگر، هر نظم زنده ای در مخاطره بی نظمی است و در عین حال از آن تغذیه می کند. همان طور که با "آشفته گی متن"^۲، یعنی با تلاقی ایده ها، تصاویر، و خاطره ها زمینه زندگی درونی ما شکل می گیرد و این چیزی است که می توان آن را حرکت براونی^۳ اندیشه و تفکر نامید؛ که با آن لوگوس، خرد، نطق، تفکر، عقل، و عمل در معنای اولیه و عمیق واژه یونانی شکل می گیرند. خرد نمی تواند به طور یقین در هیاهوی متن غرق

1. Foerster

۲. مانند موسیقی متن

3. Brownian

شود، ولی بدون آن نیز خرد آسیابی بدون آب است.

بُردارهای مثبت و منفی آنتروپی

از نظر اندازه، آنتروپی و آنتروپی منفی دو بُرداری هستند که یکی با علامت + و دیگری با علامت - با اندازه واحد، مثل شتاب و کاهش شتاب در سرعت یا سنگینی و سبکی در وزن نشان داده می‌شود. هر کلان نظامی می‌تواند برحسب آنتروپی خود "S-" خوانده شود که برحسب آنکه چقدر بی‌نظم یا دارای نظم باشند، در این معنا (و برخلاف حساب بانکی) علامت + معرف کسری سازمانی (بی‌سازمانی) و علامت - معرف اعتبار سازمانی است. تحول سازمان‌های غیرفعال و نظام‌های به اصطلاح بسته تنها در جهت افزایش آنتروپی است. بنابراین، تنها از لحاظ علامت + است که تحول آنها انجام می‌گیرد. اما، در مورد سازمان مولد خود وضع فرق می‌کند؛ علی‌رغم کار بی‌وقفه‌ای که چنین سازمانی انجام می‌دهد آنتروپی از - به + میل نمی‌کند، تا هنگامی که نظام دوام دارد آنتروپی ثابت باقی می‌ماند؛ ولی این تراز ثابت، مسئله تولید را که از ورای تجدید و زایش دائمی ایجاد می‌شود از نظر پنهان می‌دارد (مورن، ۱۳۷۴). وقتی می‌گوییم خورشید در حالت آنتروپی ساکنی است، این گفته نیز خصلت زایشی و تجدید سازمان آن را پنهان می‌کند؛ چون خورشید نه تنها هستی خود را تولید می‌کند، بلکه همچنین اتم‌های سنگین و پرتوهایی را نیز تولید می‌کند که آنها نیز سازمانی را که در سیاره ما "زندگی" نامیده می‌شود تغذیه می‌کنند.

به شکل ایستا، هر سازمانی می‌تواند به منزله یک جزیره آنتروپی منفی تلقی شود که اگر به وسیله سازمانی فعال تغذیه نشود در هر تبدیلی دچار فرسایش می‌شود. اما در معنای پویایی، سازمان اگر دارای توانایی‌های سازمان دهنده‌گی فعال باشد دارای آنتروپی منفی است، که آنها نیز در تحلیل آخر مستلزم حلقه بازگشتی تولید خود هستند. مفهوم آنتروپی منفی، با این تعریف، وجه ترمودینامیک هر احیا، تجدید سازمان، تولید، و تولید مجدد سازمان است. آنتروپی منفی از حلقه بازگشتی، چرخه‌ای، و چرخشی‌ای منشأ و شکل می‌گیرد که بی‌وقفه از نو آغاز می‌شود و به‌طور مداوم از نو تمامیت و یا ماشین

هستی را می سازد.

در طبیعت نیز، حالت های آنتروپی منفی خارج از سازمان وجود دارد، مثل عدم تعادل میان منبع گرما و منبع سرما. ولی این حالت ها به فراگرد آنتروپی منفی تبدیل نمی شوند مگر سازمان هایی وجود داشته باشند که این حالت ها را برای تولیدات خود به کار گیرند.

مفهوم آنتروپی در نظریه کوانتومی اطلاعات^۱

منشأ اطلاعات از اهمیت همه جانبه تئوریک برخوردار است. به واقع باید گفت که اطلاعات از غیر اطلاعات حاصل می شود. این بدان معناست که اطلاعات از فراگرد سازمانی نگانتروییک - که از میان کنش های رخدادی تصادفی شکل می گیرد - زاییده می شود. برای افزایش اطلاعات، غیراطلاعات (آنتروپی / اختلال) از نو مداخله می کند. ولی این اختلال نیست که اطلاعات تازه را به وجود می آورد، بلکه پیوند سازمان نگانتروییک - اطلاعات - میان کنش ها - و اختلال است.

برای یافتن سیستمی یکپارچه که قادر به توصیف همه این فرایندها باشد طریقی به جز قانون آنتروپی متجلی در فرمول های بولتزمان و شانون نمی شناسیم:

$$X = -P \log P \quad (2) \quad H = K \log I \quad (1)$$

به بیان دیگر، آنچه به واقع اطلاعات را می سازد آنتروپی، روابط اتفاقی، یا احتمال اشیاست که به روش های خاصی قابل رؤیت است. معرفتی که این گونه حاصل می شود عملاً به واسطه تعامل درونی اشیاء به وجود می آید. به بیان روشن تر، برخلاف دانش مادی، این معرفت بازتاب منابع دانش، فرایندها، و مقوله های غیرمادی، یعنی مفاهیم، صورت ها، اشکال، ساختارها، و سیرانجام اطلاعات و ارتباطات است.

نظریه‌های امروزی غالباً به مکانیک کوانتوم و فرضیهٔ نسبیت مشغول‌اند. طبق نظر بریوئن^۱ آنتروپی منفی، و کمبود ارزشی با یکدیگر پیوند دارند. به دیگر سخن، در جهان غیرزنده، نامحتمل‌ها و غیرعادی‌ها نیز قابل ستایشند؛ اما در جهان اخلاق و ارزش‌ها به نظر او چنین باوری وجود ندارد. در جهان اقتصاد، دو عامل بر قیمت‌ها تأثیرگذار است: عرضه و تقاضا. آنتروپی در آغاز حرکت با احتمالات مرتبط است، این نکته ابتدا توسط بولتزمن و پس از آن به روشی متفاوت توسط جی. دبلیو. گیبز^۲ کشف شد. ماکس پلانک^۳ فرمول زیر را ارائه کرد:

$$S_e = K \ln P, \quad K = 1/38 \times 10^{-16} \text{ CGS واحد}$$

در این فرمول، S_e نشان دهندهٔ آنتروپی یک سیستم مادی، و P تعداد ترکیب‌های میکروسکوپی اولیه، بنا به نامگذاری پلانک است. K واحد پایداری (ثابت) بولتزمن است. مفهوم "ترکیب میکروسکوپی" به فیزیک اتمی جدید، که به وسیلهٔ شرایط کوانتومی کامل شده است، اشاره دارد؛ یعنی سیستمی که فقط در قالب حالات محدود (حالات کوانتیزه شده) شکل می‌گیرد. عدد P این حالات محدود ممکن است بسیار زیاد باشد. به طور مثال، گاز فشرده شده در یک ظرف را که مرکب از مولکول‌های فراوانی است که آزادانه به هر سو حرکت می‌کنند در نظر بگیرید. ما از وضعیت و سرعت حرکت این مولکول‌ها اطلاعی نداریم. در مورد شرایط وجود میکروسکوپی آگاهی داریم اما، ساختار میکروسکوپی گاز یاد شده برای ما ناشناخته است. هرچه عدم قطعیت بیشتر باشد شمار ساختارهای درونی محتمل فزون‌تر، احتمال بیشتر، و آنتروپی گسترده‌تر خواهد بود. بریوئن یادآور شده است که "هر بخش اضافی معلومات، آنتروپی منفی سیستم را افزایش می‌دهد" (بریوئن، ۱۹۶۴، ص ۱۱؛ بالدوین^۴، ۲۰۰۵). البته گفتهٔ وی به این اصل شباهت دارد که میان حجم کمی اطلاعات و افزایش آنتروپی منفی ارتباط متقابل وجود دارد. بنابراین، نه تنها آنتروپی منفی به اطلاعات منتهی می‌شود،

1. Brillouin

2. Geabs

3. Planck

4. Baldwin

بلکه اطلاعات نیز به آنتروپی منفی می‌انجامد. بالطبع، نتیجه‌گیری فوق آن است که:

آنتروپی منفی ← اطلاعات ← آنتروپی منفی

برپوئن نشان می‌دهد که می‌توانیم نگانتروپی را به اطلاعات و اطلاعات را به نگانتروپی تبدیل کنیم، همچنین می‌توان کاهش آنتروپی را به منزلهٔ مقیاسی برای سنجش اطلاعات در نظر گرفت.

چنانچه بار دیگر پارادوکس شیطانک ماکسول را مرور کنیم، خواهیم دید که "شیطانک" برای دیدن مولکول‌ها به نور (روشنایی) احتیاج دارد؛ مصرف انرژی همان طور که اشاره گردید سبب افزایش آنتروپی در نظام کلی محیط - گیرنده می‌شود. بدین ترتیب، در نخستین مرحلهٔ نمایش، "شیطانک" اطلاعاتی به دست می‌آورد که با آنتروپی هزینهٔ آن را می‌پردازد. مرحلهٔ دوم، اطلاعات به دست آمده دربارهٔ سرعت مولکول‌ها امکان می‌دهد با عملیات سادهٔ دو وجهی (باز/ بسته) انتخاب و گزینشی که سبب کاهش آنتروپی در گیرنده می‌شود انجام گیرد، بی‌آنکه حرکت مولکول‌ها کمترین تغییری پیدا کند. بدین سان "شیطانک" اطلاعات را به نگانتروپی تبدیل می‌کند. به‌طور ساده‌تر، "شیطانک" حاوی مبدل نگانتروپی (نگانتروپی کل نظامی را که با گیرنده تشکیل می‌دهد) به اطلاعات (دربارهٔ سرعت مولکول‌ها) است و بعد مبدل اطلاعات به نگانتروپی (در گیرنده). نگانتروپی باید نخست به اطلاعات تبدیل شود تا بعداً به اطلاعات امکان دهد در جای دیگر و به نوع دیگری به آنتروپی تبدیل شود. معادل بودن اطلاعات و نگانتروپی در بطن سازمان نگانتروپیک مطرح می‌شود و این به معنای آن نیست که آنها یکی هستند یا قرینهٔ هم‌اند.

برای تبیین بهتر تعریف اطلاعات، موقعیتی را تصور کنید که در آن P_1 برآیند متفاوتی داشته باشد و به‌طور برابر مبتنی بر احتمالات پیشینی باشند. در شرایط آغازین $I_1 = 0$ ، یعنی ما هیچ معلوماتی دربارهٔ برآیندها نخواهیم داشت. اما با تغییر شرایط، P_1 به P_2 تغییر می‌یابد، و پس از آن،

$$I_1 = K \ln (P_1/P_2) = K \ln P_1 - K \ln P_2$$

که در آن، K بسته به واحدی که برای سیستم برگزیده شده عاملی پایدار است، و \ln به

معنای لگاریتم طبیعی بر مبنای e است. کاربرد ارقام صفر و یک نیز ممکن و رایج است (بایت‌ها).

به این ترتیب:

$$K = 1 / (\ln^2)$$

بولتزمان برای K به یک ویژگی دست یافته است یعنی:

$$K = 1 / 38 \times 10^{-16}$$

کاربرد این نماد K متضمن رابطه مستقیم میان اطلاعات و آنتروپی است.

برای تبیین بهتر اطلاعات، ضروری است از طریق سازمان‌های زاینده مولد خود از نظام توضیحی که در آن آنتروپی مقدار تک برداری ساده است به سوی فرانظامی حرکت کنیم که در آن آنتروپی به مفهوم پیچیده‌ای تبدیل می‌شود که هم حاوی فراگرد مثبت و هم منفی است که می‌تواند به مکمل، رقیب، و متضاد تبدیل شود.

یکی از ویژگی‌های عمده ارتباطات در عرصه کوانتومی آن است که در نتیجه پیوند متقابل اجزاء، گونه‌گونی و وحدت را می‌توان به‌عنوان عواملی که همواره در ویژگی زاینده آن توازن ایجاد می‌کنند مشاهده کرد. متوازن کردن مولکول‌ها، سلول‌ها، ارگانیسم‌ها، و نیز افراد و جوامع، الگویی را به نمایش می‌گذارد که همیشه به‌صورت عناصر گوناگون مکمل، رقیب، و متضادی که به سوی وحدت می‌روند در تب و تابند.

مآخذ

حزری، عباس (۱۳۸۱). "اطلاعات". دایرةالمعارف کتابداری و اطلاع رسانی، ج ۱، ص ۲۳۱-۲۳۵.

ریفکین، جرمی (۱۳۷۴). جهان در سرانشیبی سقوط. ترجمه محمود بهزاد. تهران: سروش.

مورن، ادگار (۱۳۷۴). طبیعت طبیعت. ترجمه علی اسدی. تهران: سروش.

Adami, C. (2004). "The physics of information". [online]. Available: arXiv: quant-ph/0405005, 1, 3

(May).

Baldwin, Rich (2005). Information theory & creationism algorithmic. [online]. Available:

<http://www.talkorigins.org/faqs/information/algorithm.html>.

Brillouin, L.(1964). *Space & time*. Trans. from French by A. Rappo Port and J.Dougall. NewYork: Dover Pub.

"Entropy". [online]. Available: <http://www.pynchon.pomona.edu/entropy/>

Foerster(Von), H., Zopf, G.W.(1962). *Principles of self organization*. NewYork: Pergamon

Maturana, H. & Varela, F.J.(1980). *Autopoiesis and cognition: The realization of the living*. Boston: Dordrecht, and London: D. Reidel Pub.

Neuman(Von), J.(1966). *Theory of self-reproducing automata*. Urbana. Illinois University Press