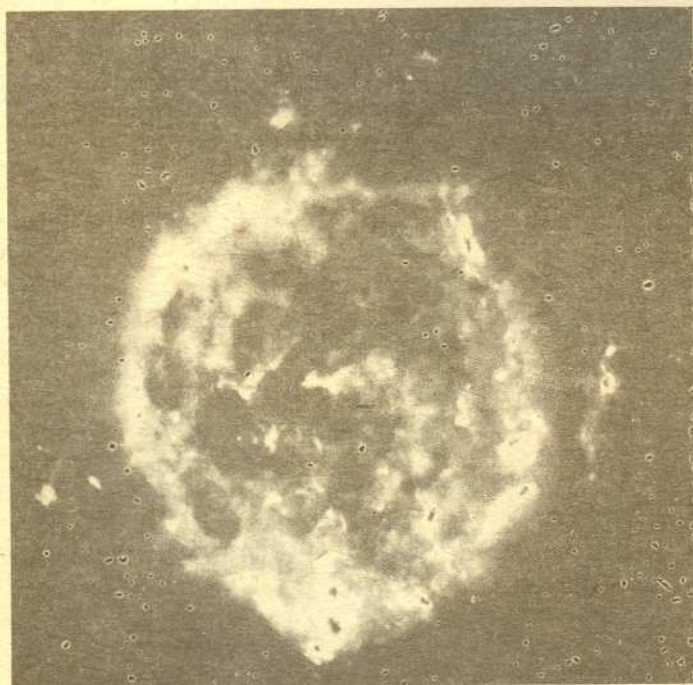
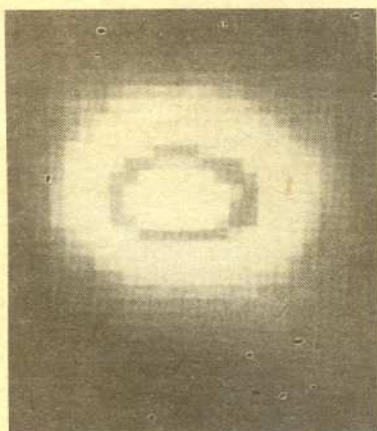


Komputerowa symulacja „przestrzelania” gwiazdy ciągu głównego białym karłem. Strzałki oznaczają lokalne prędkości materii.



Radiowa mapa mgławicy Cas A, pozostałości po wybuchu supernowej.



Podczerwony obraz obłoku pyłu wokół gwiazdy R Coronae Borealis uzyskany przez satelitę IRAS.

Już wiele lat temu pewien znany astronom z Warszawy (obecnie profesor) w rozmowie z kolegami stwierdził, że zaobserwował interesujące zachowanie się jakiejś gwiazdy. Widząc zdziwienie swych rozmówców — no, bo jak to możliwe, że „zaobserwował”? — poprawił się precyzując, że owo zachowanie się gwiazdy ujrzał na wydrukach komputerowych.

Nie od dziś dyskutowany jest problem: do jakiego stopnia komputer jest tylko urządzeniem do szybkiego liczenia, a w jakiej mierze może przyczynić się do dokonania odkrycia czegoś istotnie nowego. W tym momencie czujemy, w każdym razie ja czuję, brak definicji „odkrycia”. W powszechnym rozumieniu na pewno na tę nazwę zasługuje np. pierwsze zaobserwowanie pierwszej planetoidy przez Piazziego, nie zasługuje natomiast pierwsze zaobserwowanie komety Halleya przy jej kolejnym powrocie w pobliże Słońca. Czyżby zatem w odkryciu musiał zawierać się element przypadkowości? Jeżeli tak, to pierwsze zaobserwowanie Neptuna nie było odkryciem. Wszak Galle jedynie skierował teleskop w kierunku ściśle określonym przez Leverriera. To może Leverrier odkrył Neptuna? Ale on z kolei tylko wyciągnął wnioski z mechaniki, a dokładniej z zakłóceń ruchu Urana, czyli istnienie Neptuna wyszło mu z obliczeń przeprowadzonych na gruncie teorii już znanej. Czy wynik obliczeń może być odkryciem? Takim wynikiem może być np. wydedukowanie, że równania Einsteina dopuszczają możliwość istnienia fal grawitacyjnych, albo stwierdzenie okresowości jakiejś gwiazdy na podstawie wyników analizy fourierowskiej przebiegu jej jasności.

Panuje przekonanie, że to, co robi komputer, może też wykonać człowiek „na papierze”, co jedynie trwać będzie odpowiednio dłużej. W zasadzie to prawda, ale rozważmy np. proces uzyskania radiowego obrazu mgławicy *Cassiopeia A* zaprezentowanego obok. Obraz ten powstał w wyniku opracowania radiowych obserwacji interferometrycznych obszaru nieba $6' \times 6'$ przez komputer CRAY X-MP, przy czym czas pracy komputera wyniósł 10 godzin. Komputer ten wykonuje ponad 100 mln operacji na sekundę (na liczbach zmiennoprzecinkowych), wykonał zatem ponad $100 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 3600 = 3,6 \cdot 10^{12}$ działań. Jeżeli przyjmując, że człowiekowi wykonanie jednego działania zajmuje 10 s, dochodzimy do wniosku, że wykonywałby obliczenia przez milion lat. Chyba wszyscy się zatem zgodzimy, że są zagadnienia absolutnie niewykonalne bez komputera, aczkolwiek komputer nie wnosi tu nic od siebie, on tylko bardzo szybko liczy.

Weźmy inny przykład. Budowa gwiazdy jest określona przez konkretne prawa przyrody ujęte w odpowiednie równania, najczęściej różniczkowe. Układ tych równań jest tak skomplikowany, że chociaż wiadomo, jak się go rozwiązuje (rzecz jasna numerycznie), nikomu nie zaleca się próbować robić to „na papierze”. Mimo to człowiek może, a nawet powinien, kontrolować tu pracę komputera, gdyż na podstawie wprowadzonych doń równań komputer może zbudować bezsensowny model gwiazdy. Mianowicie: równania różniczkowe rozwiązuje się metodą małych kroków, czyli startując z jakichś początkowych wartości gęstości, ciśnienia, temperatury itd., zadanych na powierzchni gwiazdy, oblicza się nowe wartości tych funkcji na głębokości dr , z tego oblicza się następne wartości o dalsze dr głębiej itd. Może się zdarzyć, że zanim program obliczeniowy dojdzie do środka gwiazdy, masa jej zostanie już wyczerpana. Komputer w ten sposób „odkryłby” gwiazdę pustą w środku. Oczywiście można program udoskonalić tak, by takie przypadki sygnalizował lub odrzucał, ale wniosek pozostanie jeden: komputer może zrobić wszystko w obrębie wprowadzonego doń modelu (z czego nie wszystko musi być sensowne) i nie zrobi nic, co wykraczałoby poza ten model. Komputer może zasygnalizować załamanie się modelu, ale nie wymyśli nowego, lepszego. Jeżeli ma symulować ewolucję gwiazdy wodorowej, to

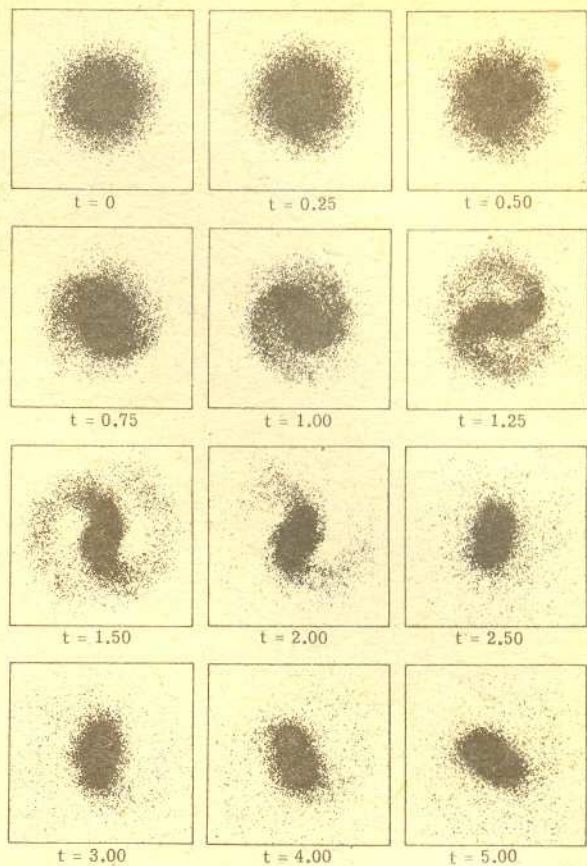
przeprowadzi ją aż do wyczerpania wodoru, ale sam nie wpadnie na to, żeby zapalić hel.

Niektórzy jednak uważają, że skądinąd banalne wykonywanie obliczeń przez komputer może prowadzić do wyników zasługujących na miano odkryć — jakby „ilość przeszła w jakość”. Przykładem może być śledzenie ruchu wielu ciał lub hydrodynamika. Równania ruchu są w obu przypadkach zasadniczo bardzo proste, jednak dzięki możliwości wykonania ogromnej liczby obliczeń dochodzi się do wyników zupełnie nieprzewidywalnych, nawet intuicyjnie. Intuicja jakoś nie może nam odpowiedzieć, dlaczego układ liczący tysiące (i więcej) gwiazd w pewnych okolicznościach staje się spiralny. Niepodobna też intuicyjnie przewidzieć, czy i dlaczego dysk akrecyjny wokół białego karła zasilany strumieniem materii płynącej z jego towarzyszka będzie stabilny czy nie. Jest tu w pewnym sensie gorzej niż z modelowaniem gwiazd. Mianowicie: model gwiazdy powstaje w wyniku skończonej liczby obliczeń, podczas gdy we wspomnianych przypadkach badacz puszczając program w ruch nie ma pojęcia, co z tego wyjdzie i nie wie nawet, w którym momencie może wyjść coś ciekawego. Komputer nie podpowie tu, jak długo trzeba prowadzić obliczenia, bo nie wie, co to jest „ciekawý wynik”.

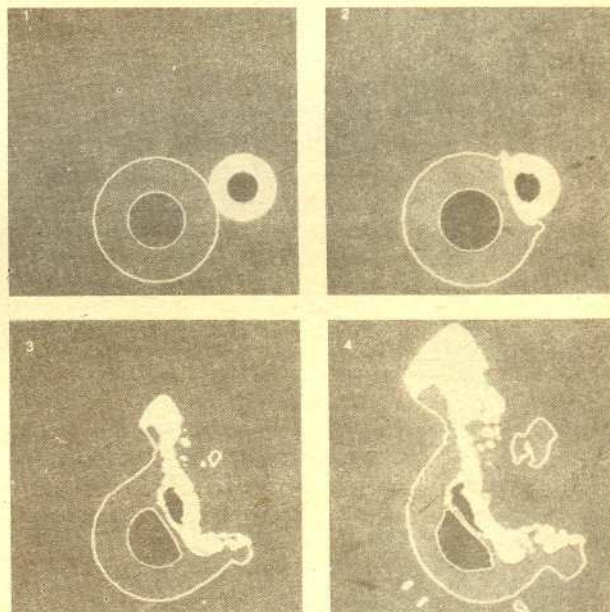
Gdy rozmawiałem na te tematy z moimi kolegami, jeden z nich stwierdził, że wprawdzie jeszcze nie dziś, ale może już niedługo jakiś lepszy komputer będzie mógł osiągnąć wyższy stopień inteligencji, niż tylko umiejętność szybkiego liczenia. Miał tu na myśli możliwość takiego zaprogramowania maszyny, by sprawdzała, czy wprowadzone do niej dane pasują do modelu (hipotezy, teorii), który chcemy zweryfikować. Swoje przekonanie opierał na fakcie, że sprawdzanie, czy fakty pasują do modelu, jest czynnością podlegającą logice, a więc możliwą do przeprowadzenia przez komputer. Oczywiście komputer mógłby sprawdzić w ten sposób słuszność modelu na gruncie jedynie skończonej liczby faktów obserwacyjnych, tej — którą by go uprzednio załadowano. Należy chyba przypuszczać, że odkrycia dokonane w ten sposób byłyby tylko negatywne i sprowadzałyby się tylko do stwierdzenia, że jakiś fakt nie pasuje do sprawdzanego modelu. Trudno sobie wyobrazić, by komputer mógł wiedzy zasugerować lepszy model lub inne doświadczenie mogące rozstrzygnąć o słuszności badanego modelu. Prawdę mówiąc, wspomniany tu kolega był większym optymistą. Jego zdaniem mianowicie będzie można zaprogramować komputerowi nawet intuicję, skojarzenia lub zniechęcenie wynikające z braku pozytywnego wyniku. Rzecz jasna, nie ustaliliśmy technicznych szczegółów, jak to zrobić. Słyszeliśmy już co prawda o uczących się maszynach, jednak mój optymizm tak daleko nie sięgał. A może przemawia przeze mnie podświadoma niechęć, by maszyna zrównała się ze mną pod względem pewnych cech, uważanych za wyłącznie „ludzkie”?

Obecne powszechnie dostępne komputery nie są w każdym razie jeszcze doskonałe. Dość jest problemów choćby z uwzględnieniem wpływu kumulowania się nieuniknionych błędów obliczeniowych na ostateczny wynik. Komputer wykonuje wszak obliczenia ze skończoną dokładnością i końcowy rezultat bardzo długiego ciągu obliczeń może mieć wiarygodność bardzo problematyczną. Dowodem tego są np. obliczenia ruchu komety Halleya na 3000 lat wstecz. Rozbieżność wyników sięga tam już jednego pełnego obiegu komety wokół Słońca, a z pewnością wszyscy zainteresowani badacze dołożyli starań, by błędy maszynowe zminimalizować.

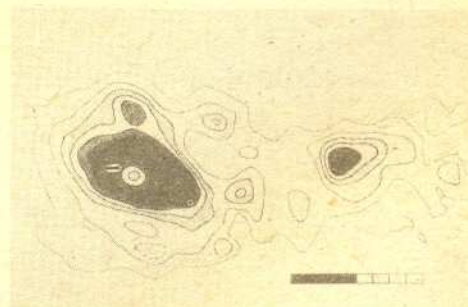
Te nieco chaotyczne rozważania skłaniają mnie do wniosku: komputer to niewątpliwie wspaniałe narzędzie, dzięki niemu można pokusić się o badanie problemów o niesłychanym stopniu komplikacji, ale robienie odkryć zostawiłbym jednak człowiekowi.



Komputerowa symulacja ewolucji struktury spiralnej.



Komputerowa symulacja zderzenia dwóch planet.



Radiowa mapa galaktyk M81 i M82.