Jak zidentyfikowaliśmy hiperjądro podwójne

Prof. dr Janusz ZAKRZEWSKI

Chciałbym opisać tu historię odkrycia hiperjądra podwójnego dokonanego w roku 1962 w Warszawie. Interesowała nas wtedy sprawa tworzenia hiperjąder w oddziaływaniach szybkich mezonów K^-, przy czym zespół nasz, złożony z Mariana Danysza, Krystyny Garbowskiej, Jerzego Pniewskiego, Tadeusza Pniewskiego i autora niniejszego artykułu, uczestniczył w badaniach prowadzonych w ramach szeroko zakrojonej współpracy międzynarodowej, zwanej Europejską Współpracą K^-. Oprócz ośrodka warszawskiego, w owym czasie w skład tej grupy wchodziły zespoły z Bristolu, Brukseli, Dublina, Genewy i Londynu — w sumie 23 fizyków i co najmniej drugie tyle techników. Badania w zakresie fizyki wielkich energii i cząstek elementarnych — to praca naprawdę zespołowa, wymagająca udziału wielu specjalistów z różnych ośrodków, oparta na wykorzystaniu akceleratorów dostarczających cząstek wielkich energii. Badania w tej dziedzinie muszą mieć charakter międzynarodowy.

W tym wypadku wykorzystywaliśmy blok specjalnej emulsji fotograficznej złożony z wielu warstw, naświetlonych wiązką mezonów K^- uzyskaną z akceleratora protonowego w Międzynarodowym Ośrodku Badań Jądrowych pod Genewą. Warstwy te, po wywołaniu i utrwaleniu, podzielone między laboratoria Europejskiej Współpracy K^-, przeglądali przy użyciu mikroskopów technicy-mikroskopiści, notując zderzenia mezonów K^- z jądrami składników emulsji fotograficznej.

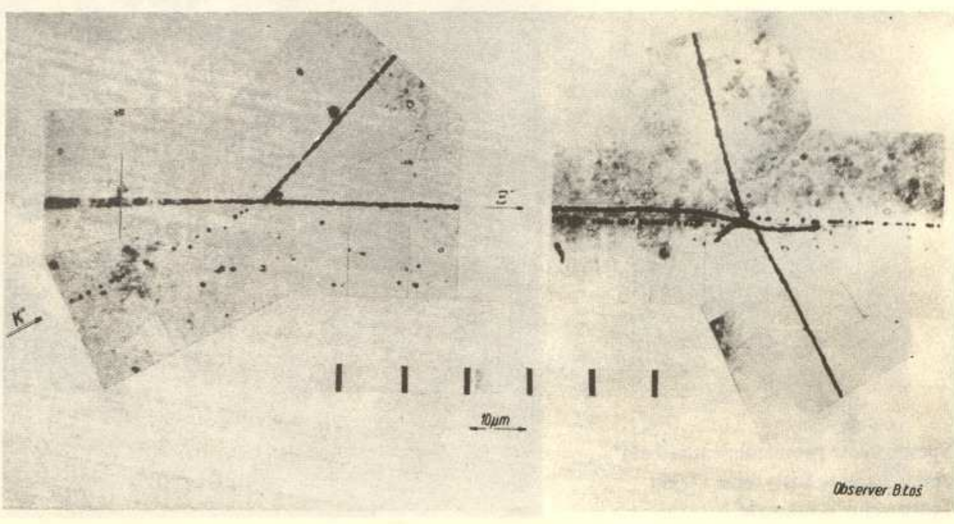
Fizyka hiperjąder jest dziś obszerną dziedziną wiedzy. Dwa najpoważniejsze odkrycia miały miejsce w Uniwersytecie Warszawskim: w 1952 r. zaobserwowano pierwsze hiperjądro, a w 10 lat później hiperjądro podwójne.
Redakcja Delty zwróciła się z prośbą do jednego z współodkrywców podwójnego hiperjądra aby opowiedział Czytelnikom jak do tego doszło. Sądzimy, że tego typu artykuły przedstawiające drogę do wyniku, a nie tylko sam wynik, pozwalają lepiej zrozumieć specyfikę pracy badawczej. Prosimy bardzo o propozycje, jakimi osiągnięciami współczesnej fizyki zająć się w tym dziale. Dołożymy starań aby spełnić życzenia Czytelników również w zakresie osiągnięć dokonanych przez fizyków zagranicznych.

Ale zanim przejdziemy do właściwej historii, trzeba koniecznie wprowadzić kilka pojęć z fizyki cząstek elementarnych — bez takiego wstępu trudno byłoby niespecjaliście śledzić dalszy tok rozumowania.

Badając własności obecnie znanych cząstek elementarnych wykryto pewną ich cechę, która może być jednym z elementów, dzięki którym cząstki różnią się między sobą. Ponieważ nie można znaleźć żadnego prostego obrazu fizycznego tej cechy — nazwano ją dziwnością. Istnieje wiele procesów, w których ta cecha jest ściśle zachowana i jedynie przekazywana od jednej cząstki do innej, co pociąga za sobą zmianę indywidualności tej cząstki. Cząstkom o różnych dziwnościach możemy przypisać liczby 0, ± 1, ± 2, ... itd. Nukleonom, tj. protonowi i neutronowi, przypisana jest dziwność zero, podobnie mezonom pi (pionom), natomiast mezonowi K^- (*K* minus) i hiperonowi lambda — dziwność minus jeden. Wszystkie hiperony mają dziwność ujemną, przy czym np. hiperon ksi minus ma dziwność minus dwa. Nukleony i piony uważane są za cząstki niedziwne; jądra atomowe, których składnikami są nukleony, stanowią więc struktury niedziwne.

By cechę „dziwność" uczynić mniej zagadkową, dodajmy, że w procesach, zwanych przez fizyków szybkimi, do których należy np. zderzenie, dziwność jest zachowana. W wyniku zatem zderzenia cząstek niedziwnych nie może powstać cząstka dziwna, chyba, że wraz z nią powstanie cząstka o dziwności przeciwnej, t.j. naraz dwie cząstki o dziwnościach dodatniej i ujemnej. Przy oddziaływaniu jądrowym mezonu K^- z nukleonem, jego dziwność ujemna zatem nie ginie, lecz jest przekazywana powstającej z nukleonu cząstce dziwnej — hiperonowi.

Próba rozwiązania zadania M2.
Liczby *p* i *q* spełniają warunki zadania (na podstawie wzorów Viety) wtedy i tylko wtedy, gdy $p+q=-p$ i $pq=q$. Rozwiązując ten układ równań otrzymujemy $p=0$ i $q=0$ lub $p=1$ i $q=-2$. Rozwiązanie to zawiera jednak błąd logiczny — **zob. str. 2.**



Jednym z takich hiperonów jest cząstka lambda, bardzo dla nas ważna, gdyż może ona w pewnych warunkach stać się składnikiem jądra atomowego. Jądro takie ma jednostkową dziwność ujemną, jest więc samo jądrem dziwnym i nazywa się hiperjądrem. Możliwość wiązania hiperonu lambda w materii jądrowej odkryta została w roku 1952, w Uniwersytecie Warszawskim, przez Mariana Danysza i Jerzego Pniewskiego. Zapoczątkowali oni w ten sposób nowy dział fizyki — fizykę hiperjąder, która stała się odtąd specjalnością polską. Prace w tej dziedzinie prowadzone są w Warszawie do dnia dzisiejszego, nie tylko przy użyciu emulsji fotograficznej, ale również metodami licznikowymi.

Z powyższych rozważań wynika ważny wniosek: w oddziaływaniach mezonów K^- mogą powstawać hiperjądra, skoro tworzone są hiperony lambda mogące ulec związaniu we fragmentach jądrowych. Gdy w grę wchodzą szybkie mezony K^-, na sto takich oddziaływań obserwuje się około czterech przypadków tworzenia hiperjąder. Jakie są ich dalsze losy? Otóż hiperjądra są nietrwałe, mogą ulegać rozpadowi na kilka fragmentów, mogą między innymi emitować mezony pi (jest to swoista „promieniotwórczość pionowa"). W rozpadzie takim, który jest procesem uważanym za powolny, dziwność ginie: jądro dziwne — hiperjądro — zamienia się na cząstki niedziwne, gdyż mezon pi i inne fragmenty jądrowe mają dziwność równą zero.

Czy mogą powstawać jądra o dziwności podwójnej, zawierające nie jeden, a dwa hiperony lambda? Pytanie to postawili sobie fizycy wkrótce po odkryciu hiperjąder pojedynczych, zawierających jeden hiperon lambda związany w strukturze jądrowej. Takie hiperjądra, zawierające dwa związane hiperony, nazywamy hiperjądrami podwójnymi o dziwności minus dwa. Można ich było oczekiwać właśnie w oddziaływaniach szybkich mezonów K^-, kiedy duża energia tych mezonów pozwala uzyskać dodatkową dziwność ujemną wraz z dziwnością dodatnią.

Jak już wspomniałem, przeglądu emulsji dokonywali mikroskopiści; przypadki znalezione przez nich analizowaliśmy następnie my, fizycy, klasyfikując je i kierując do pomiarów. W ten sposób zobaczyliśmy po raz pierwszy w zimie 1962 roku przypadek, zanotowany przez mikroskopistkę, Barbarę Łoś, który od pierwszego rzutu oka pobudził naszą wyobraźnię. Jego niezwykłość polegała na tym, że z bardzo małej objętości emulsji, do której prowadził ślad zatrzymującej się cząstki, wytworzonej w oddziaływaniu jądrowym mezonu K^-, wybiegały, oprócz innych cząstek, ślady dwóch mezonów pi! Interpretacja nasuwała się natychmiastowo, jak w olśnieniu, choć wymagała wielkiej wyobraźni: mógł to być dwukrotny rozpad z emisją mezonu pi hiperjądra podwójnego, wytworzonego przez hiperon ksi minus, powstający w oddziaływaniu jądrowym mezonu K^- (wraz z mezonem K^0 o dziwności dodatniej). Hiperon ten mając dziwność równą minus dwa, w oddziaływaniu z jądrem zwyczajnym tworzy dwa hiperony lambda. Jeśli hiperony te zostaną związane w tym samym fragmencie jądrowym — może powstać hiperjądro podwójne. Ale wtedy, gdy zobaczyliśmy nasz przypadek, to wszystko było czystą spekulacją — tak mogło być, ale nie musiało. Chociaż interpretacja podsunięta przez wyobraźnię wydawała się nam bardzo atrakcyjna, wymagała jednak potwierdzenia na drodze pomiarów i dokładnej analizy.

I tak zaczął się kilkumiesięczny okres, w którym zespół nasz starał się sprawdzić proponowaną interpretację, dokonując niezliczonych obserwacji i pomiarów. Każdy wynik przyjmowany był niezmiernie krytycznie i po wielokroć sprawdzany.

Rozwiązanie zadania M1.

Załóżmy, że $b^2 = a(a+c)$.

Uwzględniając tę równość mamy ze wzoru cosinusów

$$\cos A = \frac{b^2+c^2-a^2}{2bc} = \frac{a^2+ac+c^2-a^2}{2bc} = \frac{a+c}{2b}$$

$$\cos B = \frac{a^2+c^2-b^2}{2ac} = \frac{a^2+c^2-a^2-ac}{2ac} = \frac{c(c-a)}{2ac} = \frac{c-a}{2a}$$

oraz ze wzoru na cosinus podwojonego kąta

$$\cos 2A = 2\cos^2 A - 1 = \frac{a^2+2ac+c^2-2b^2}{2b^2} = \frac{a^2+2ac+c^2-2a^2-2ac}{2a(a+c)} = \frac{c^2-a^2}{2a(a+c)} = \frac{(c-a)\cdot(c+a)}{2a(a+c)} = \frac{c-a}{2a}$$

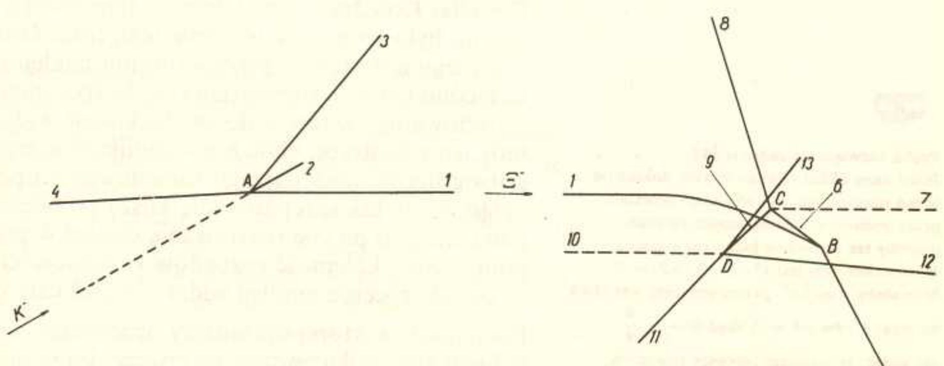
Mamy więc równość $\cos 2A = \cos B$, skąd wobec nierówności $0 < 2A < 2\pi$, $0 < B < \pi$ wynika, że $B = 2A$ lub $2\pi - 2A = B$. Jeżeli $2\pi - 2A = B$, to $2\pi - A + C = A + B + C = \pi$, skąd $A = C + \pi > \pi$, co jest niemożliwe. Jest więc $B = 2A$.

Jeżeli w trójkącie zachodzi równość $B = 2A$, to na podstawie twierdzenia sinusów i cosinusów

$$\frac{b}{a} = \frac{\sin B}{\sin A} = \frac{\sin 2A}{\sin A} = \frac{2\sin A\cos A}{\sin A} = 2\cos A = \frac{b^2+c^2-a^2}{bc}.$$

Z równości tej wynika, że $b^2c = ab^2 + ac^2 - a^3$ skąd $b^2(c-a) = a(c^2-a^2)$ czyli $b^2(c-a) = a(c-a)\cdot(c+a)$ skąd $c-a = 0$ lub $b^2 = a(c+a)$. Jeżeli $c-a = 0$, to $C = A$, a ponieważ $B = 2A$, więc $\pi = A+B+C = A+2A+A$, skąd $C = A = \frac{\pi}{4}$, $B = \frac{\pi}{2}$.

Wówczas na mocy twierdzenia Pitagorasa i równości $a = c$ mamy $b^2 = a^2+c^2 = a(a+c)$. W każdym więc przypadku otrzymamy tę równość.



Mikrofotografia oraz rysunek schematyczny przypadku tworzenia i kaskadowego rozpadu hiperjądra podwójnego. Mezon K^- zderzył się z jądrem emulsji fotograficznej (gwiazda A) wytwarzając hiperon ksi (tor 1). Hiperon ten został pochłonięty przez jądro (gwiazda B) z emisją hiperberylu dwulambdowego (tor 6) rozpadającego się (gwiazda C) z emisją mezonu pi (tor 7) i hiperberylu jednolambdowego (tor 9). Rozpada się on również z emisją mezonu pi (tor 10) i innych cząstek naładowanych (tory 11, 12 i 13).

Hiperon ksi powstaje w wyniku przekształcenia się jednego z nukleonów jądra.

Próba rozwiązania zadania M3.
Jeżeli dany układ równań miałby dokładnie jedno rozwiązanie, to i równanie powstałe przez dodanie stronami danych równań miałoby też dokładnie jedno rozwiązanie. Równaniem tym jest $y^2+y-(m+2)=0$. Musiałoby więc być (przyrównujemy wyróżnik do zera) $1+4m+8=0$, skąd $m=-\frac{9}{4}$, ale widać, że wówczas pierwsze równanie układu jest sprzeczne. Niestety, pierwsze zdanie tego rozwiązania zawiera błąd logiczny. (zob. str. 16).

Do późnej nocy, dzień w dzień, wpatrywaliśmy się kolejno w mikroskop starając się dociec, z której spośród trzech gwiazd B, C i D (patrz rysunek) wybiegały tory cząstek oraz wielokrotnie mierząc zasięgi tych cząstek i kąty ich emisji. Zadanie nie było łatwe, gdyż gwiazdy te leżały w objętości emulsji nie przekraczającej trzech stumilionowych części milimetra sześciennego ($\sim 3 \cdot 10^{-8}\ mm^3$). Prawdopodobieństwo przypadkowego nałożenia się obserwowanych trzech gwiazd w tak małej objętości emulsji oceniliśmy jako znacznie mniejsze od jednej dziesięciomiliardowej ($\ll 10^{-10}$). Po ustaleniu pochodzenia wszystkich torów, w szczególności stwierdzeniu, że jeden z mezonów pi pochodzi z gwiazdy C (tor 7) a drugi — z gwiazdy D (tor 10), ciąg zdarzeń przedstawiał się następująco. Mezon K^-, początkujący cały proces, zderzył się z jądrem emulsji (gwiazda A) wytwarzając hiperon ksi (tor 1). Hiperon ten został pochłonięty przez jądro, prawdopodobnie węgla (gwiazda B), z emisją hiperjądra podwójnego (tor 6) rozpadającego się kaskadowo (gwiazda C) z emisją mezonu pi (tor 7) i hiperjądra pojedynczego (tor 9). To ostatnie rozpadało się również z emisją mezonu pi (tor 10) i innych cząstek naładowanych (tory 11, 12 i 13). Szczegółowa analiza takiego ciągu zdarzeń doprowadziła do wniosku, iż hiperjądrem podwójnym musiał być dwulambdowy beryl dziesięć (z mniejszym prawdopodobieństwem beryl jedenaście). Rozważyliśmy też szereg innych interpretacji konkurencyjnych, które mogłyby wyjaśnić obserwowany ciąg zdarzeń — gwiazdy A, B, C i D — odrzucając je w końcu jako niespójne z obserwacjami.

I tak pozostała w końcu ta pierwsza interpretacja, intuicyjna — tylko teraz potwierdzona przez pomiar i rygorystyczne rozumowanie.

Zdarzyła się rzecz przez nikogo nie przeczuwana: w Warszawie zidentyfikowano pierwsze hiperjądro podwójne, podobnie jak dziesięć lat wcześniej — również w Warszawie! — pierwsze hiperjądro pojedyncze. Jak się okazało w dalszych badaniach, prawdopodobieństwo obserwacji takiego przypadku w naszych warunkach eksperymentalnych jest bardzo małe, mniejsze niż jedno na milion oddziaływań mezonów K^- ($< 10^{-6}$). Do chwili obecnej znany jest jeszcze drugi podobny przypadek hiperjądra podwójnego, znaleziony w Stanach Zjednoczonych w kilka lat po naszym odkryciu, potwierdzający w całej pełni nasze wnioski. Nawiasem mówiąc, dopiero wtedy odetchnęliśmy z ulgą...

Kiedy już upewniliśmy się w interpretacji przypadku, wiosną 1963 roku zawiadomiliśmy naszych współpracowników z Europejskiej Współpracy K^- o odkryciu. Odbyliśmy szereg rozmów telefonicznych, wysłaliśmy listy przekazując naszym kolegom wszystkie dane pomiarowe i prosząc o sprawdzenie naszych rachunków i rozumowania. W tym czasie nie mieliśmy jeszcze do dyspozycji w Warszawie elektronicznych maszyn cyfrowych, wszystkie rachunki przeprowadzaliśmy za pomocą zwykłych maszyn do liczenia, co zajęło bardzo wiele godzin. Nasi koledzy zagranicą mieli już dostęp do maszyn cyfrowych i sprawdzili przy ich użyciu w dwóch ośrodkach nasze rachunki, uzyskując te same wyniki.

Jednym z kłopotów przy interpretacji całego zdarzenia była trudność doszukania się krótkiego toru, kryjącego się częściowo pod innym torem, właściwie niemożliwego do zaobserwowania wobec znajdującego się przypadkowo pod nim znaczka współrzędnych umieszczonego na spodzie emulsji tuż przy szkle (ciemne tło na mikrofotografii). Mimo to nie wątpiliśmy w jego istnienie, skoro jego br czyniłby całe zdarzenie zupełnie niezrozumiałym. W tym czasie ośrodkiem o największej sławie w zakresie metod emulsyjnych było laboratorium Uniwersytetu Bristolskiego, kierowane przez laureata Nagrody Nobla profesora Cecila F. Powella. Koledzy z tego laboratorium podjęli się tak spreparować emulsję, by można było sprawdzić istnienie tego toru. Odklejono emulsję od podkładu szklanego a następnie po odwróceniu naklejono powtórnie. Starto znaczek oraz nasycono emulsję roztworem tak, że spęczniała wielokrotnie i wtedy całe „rusztowanie" torów stało się doskonale widoczne. Pojawił się tor, którego nie mogliśmy dostrzec, choć nie wątpiliśmy w jego istnienie. Było to piękne potwierdzenie toku naszego rozumowania i poprawności interpretacji. Kiedy oglądaliśmy tak spreparowaną kliszę po odesłaniu do Warszawy, jeden z nas patrząc na to piękne rusztowanie doznał w pierwszej chwili szoku, że jednak pomyliliśmy kolejność rozpadów kaskadowych. Zapomniał zapewne z wrażenia, że po odwróceniu emulsji widzi również cały obraz odwrotnie...

Publikacja, w której opisaliśmy obserwację hiperjądra podwójnego, ukazała się w lipcu 1963 roku; wcześniej jeszcze, bo w marcu tegoż roku, referowaliśmy naszą pracę na dwóch konferencjach międzynarodowych, w Genewie i St. Cergue, poświęconych fizyce struktur jądrowych i hiperjąder.

Na czym polegało znaczenie naszego odkrycia? Potwierdziło ono możliwość wiązania dwóch hiperonów lambda w materii jądrowej i umożliwiło pierwszą ocenę wzajemnego oddziaływania, na innej drodze nieosiągalną. Odkrycie to pokazało zarazem, że hiperjądra podwójne można wytwarzać na drodze wychwytu jądrowego hiperonów ksi. Należy się spodziewać, że fizyka hiperjąder podwójnych rozwinie się dopiero po skonstruowaniu wiązek takich hiperonów (co nie jest rzeczą łatwą ze względu na krótki czas ich życia). Poszukiwanie hiperjąder podwójnych wytwarzanych w oddziaływaniach szybkich mezonów K^- jest zbyt pracochłonne. A że znaleźliśmy tak rzadki przypadek? Może mieliśmy szczęście...

Krótki kurs informatyki Algorytmy cz. I

dr Andrzej SKOWRON

W rozważaniach naszych nie będziemy chwilowo dążyli do ścisłej definicji algorytmu ani do formalizacji zapisu algorytmów. Celem naszym będzie wyrobienie u Czytelnika przekonania, że algorytm jest uściśleniem przepisu postępowania prowadzącego do zamierzonego celu.

Spróbujemy wymienić kilka charakterystycznych cech (nieformalnego) pojęcia algorytmu.

1) Algorytm określa się przez podanie przepisu postępowania, pamięci oraz sterowania.
2) Pamięć określa się jako zbiór, którego elementy nazywamy stanami.
3) Sterowanie (którego rolę może pełnić człowiek lub urządzenie) umożliwia przeprowadzenie obliczeń, a mianowicie w oparciu o przepis postępowania wyznacza jednoznacznie czynność, którą należy wykonać na aktualnym stanie pamięci oraz określa jednoznacznie następny stan pamięci i następną czynność do wykonania (jeśli jeszcze jakąś czynność należy wykonać).
4) Dla każdego algorytmu określony jest sposób wprowadzania do pamięci elementów zbioru nazywanego zbiorem danych oraz sposób odczytywania wyników z pamięci.

Aby wyjaśnić bliżej sens powyższych sformułowań rozważmy dobrze znany algorytm Euklidesa, który pozwala dla dowolnych liczb naturalnych a i b wyznaczyć ich największy wspólny dzielnik oznaczany przez NWD (a, b). Jeśli chcemy wyznaczyć NWD (a, b), gdzie a, b są liczbami naturalnymi, postępujemy według następujących reguł:

I Jeśli $a = b$, to NWD $(a, b) = a$.

II Chcąc znaleźć NWD (a, b) gdy $a > b$, dzielimy a przez b i wyznaczamy resztę r z tego dzielenia. Z kolei dzielimy b przez r i wyznaczamy nową resztę r_1. Następnie dzielimy r przez r_1 i wyznaczamy nową resztę r_2 itd., aż dojdziemy do reszty *0*. Ostatnia różna od zera reszta będzie największym wspólnym dzielnikiem liczb a i b.

III Jeśli $a < b$, to postępujemy jak w II zamieniając rolami a i b. Przyjmiemy, że liczby naturalne będą przedstawiane w zapisie dziesiętnym i jeśli nie zajdzie potrzeba, nie będziemy odróżniać liczby naturalnej od jej zapisu dziesiętnego.

Okaże się niżej, że wygodnie jest wyróżnić nazwy miejsc, w których zapisujemy liczby naturalne. Miejsca, w których będą zapisywane liczby naturalne będziemy nazywać **x**, **y**, **z**, **u**. Przez x, y, z, u będziemy oznaczać liczby naturalne zapisane odpowiednio w miejscach o nazwie **x**, **y**, **z**, **u**. Powiemy, że x jest zawartością **x**, y jest zawartością **y**, itd. Jeśli np. w miejscu o nazwie **x** nie zapisano żadnej liczby, to przyjmiemy, że zawartość **x** jest pusta i będziemy umownie przyjmować jako zawartość **x** symbol —.

Stanami pamięci naszego algorytmu będą ciągi (x, y, z, u), a pamięć jest zbiorem wszystkich takich ciągów.

Możemy teraz bardziej szczegółowo rozpisać sposób postępowania prowadzący do wyznaczenia największego wspólnego dzielnika dwu dowolnych liczb naturalnych. Czynności, które należy wykonać (poczynając od oznaczonej numerem 1) są następujące:

Wykonując czynności 1, 2 wprowadzamy dane, które będą przekształcone.

1. Umieść liczbę naturalną a w miejscu o nazwie **x** (symbolicznie tę czynność oznaczymy $a \rightarrow \mathbf{x}$). Jako następną wykonaj czynność oznaczoną numerem 2.
2. Umieść liczbę naturalną b w miejscu o nazwie **y** (symbolicznie tę czynność oznaczymy $b \rightarrow \mathbf{y}$). Jako następną wykonaj czynność oznaczoną numerem 3.

Badamy, z którym z przypadków I, II, III mamy do czynienia.

3. Sprawdź, czy zawartość **x** jest większa od zawartości **y** (symbolicznie tę czynność oznaczymy $\mathbf{x} > \mathbf{y}$). Jeśli tak, to jako następną wykonaj czynność oznaczoną numerem 5; jeśli nie — to 4.
4. Umieść zawartość **x** w miejscu o nazwie **u** (symbolicznie tę czynność zapisujemy $\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{u}$). Zakładamy, że po wykonaniu tej czynności zawartość **x** nie zmieni się. Jako następną wykonaj czynność oznaczoną numerem 7.
5. $\mathbf{y} \rightarrow \mathbf{u}$. Jako następną wykonaj czynność oznaczoną numerem 10.