

Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Wydział Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej

Tomasz Zdrawkow

Ewolucja zmian widmowych gwiazdy symbiotycznej
MWC 560 w latach 1990 – 2005

Praca magisterska wykonana
w Katedrze Astronomii i Astrofizyki CA UMK

OPIEKUN

dr hab. Toma Tomov, prof. UMK

Toruń 2005

Uniwersytet Mikołaja Kopernika zastrzega sobie prawo własności niniejszej pracy magisterskiej w celu udostępniania dla potrzeb działalności naukowo-badawczej lub dydaktycznej.

Spis treści

Wstęp	4
1 Wprowadzenie	6
1.1 Opis układu	6
1.2 Cechy widmowe	8
2 Obserwacje, redukcja i pomiary	11
2.1 Obserwacje	11
2.2 Redukcja widm	12
2.3 Poprawki heliocentryczne	13
2.4 Pomiary maksymalnej prędkości dżetu	14
3 Zmiany blasku <i>MWC 560</i>	16
3.1 Historyczne obserwacje	16
3.2 Krzywa blasku 1990-2005	17
4 Zmiany widmowe <i>MWC 560</i>	19
4.1 Atlas widmowy	19
4.2 Zmiany amplitudy <i>flikeringu</i>	21
4.3 Długookresowe zmiany blasku, maksymalnej prędkości i amplitudy <i>flikeringu</i>	24
5 Zakończenie	29
Dodatek A	31
Dodatek B	122

Wstęp

Gwiazdy symbiotyczne poraz pierwszy zostały wydzielone jako oddzielna klasa spektroskopowo osobliwych na początku XX wieku. Dokonała tego Annie J. Cannon podczas pracy nad katalogiem HD. W wydzielonej grupie znajdowały się gwiazdy z jasnymi liniami emisyjnymi HI i HeII. W 1932 roku powtórnie odkryli gwiazdy CI Cyg i RW Hya Merrill i Humanson (1932) klasyfikując je jako osobliwe olbrzymy typu M z silną linią emisyjną HeII $\lambda 4686$. Osobliwość tych gwiazd polegała na jednoczesnym występowaniu w widmie, jak wówczas uważano, pojedynczego obiektu cechy widmowe gwiazd chłodnych (takie jak pasma TiO i linie neutralnych metali) jak i gwiazd gorących (wysoko wzbudzonych linii emisyjnych HeII, HI). Tak niezwykle obiekty nazwano gwiazdami o *złożonych* widmach. W krótko po tym na podstawie analizy płyt fotograficznych Obserwatorium Harvarda stwierdzono, że gwiazdy te wykazują periodyczną zmienność blasku o okresie od 600 do 900 dni jak również sporadyczne wybuchy podobne do gwiazd nowych jaśniejąc o 2 do 3 mag. Analiza prędkości radialnych pokazała, że są to układy podwójne przez co Merrill w 1931 roku zaproponował aby Z And, CI Cyg, AX Per oraz im podobne gwiazdy nazwać gwiazdami symbiotycznymi (Mikołajewska 1997).

Ogólnie przyjęty model układów symbiotycznych składa się z raczej normalnego olbrzyma typu M oraz towarzyszącemu jemu gorącemu składnikowi przypominającego jądra mgławic planetarnych. Olbrzym przekazuje materię towarzyszowi poprzez wiatr gwiazdowy, z którego akreuje biały karzeł. Materia tracona przez olbrzyma tworzy wokół układu otoczkę gazową, która jest częściowo jonizowana przez gorący składnik. W ten sposób przedstawia się większość gwiazd symbiotycznych aczkolwiek znane są nieliczne wyjątki. Zaliczamy do nich układy, w których olbrzyma typu M zastępuje olbrzym typu G przez co układy takie nazywane są żółtymi symbiotycznymi. Znany jest także jeden potwierdzony układ, w którym modelowego białego karła zastępuje gwiazda neutronowa (Mikołajewska 2003).

Gwiazdy symbiotyczne możemy podzielić względem ich własności w podczerwieni oraz względem zmian fotometrycznych i widmowych. Pierwszy podział rozróżnia gwiazdy typu S i D. W gwiazdach typu S chłodnym składnikiem jest zwykły olbrzym typu M ($\sim 80\%$ układów) o okresach orbitalnych nie przekraczających 15 lat. W gwiazdach typu

D chłodny składnik stanowi olbrzym typu Mira odpowiedzialny za otoczkę pyłową wokół układu. Okresy orbitalne w tych układach są trudne do określenia lecz przypuszcza się, że są rzędu kilkudziesięciu lat co wskazuje na dużą separację składników (Mikołajewska 2003). Stosując podział względem zmian fotometrycznych i widmowych możemy wyróżnić trzy klasy: symbiotyczne nowe, klasyczne symbiotyczne oraz symbiotyczne *propellera* (Mikołajewski et al. 1996). W symbiotycznych nowych obserwowany jest tylko raz nagły wzrost jasności o kilkanaście magnitudo a następnie łagodny spadek jasności w skali kilkudziesięciu lat. Podczas spadku jasności dzielność promieniowania nie ulega zmianie. Klasyczne symbiotyczne pokazują sporadyczne wybuchy jaśniejąc o 1 – 3 mag. w skali kilku lat. W tych dwóch klasach za wybuchy odpowiedzialne są reakcje termojądrowe. Symbiotyczne propellera przechodzą podobne wybuchy jak klasyczne symbiotyczne. Klasa ta charakteryzuje się akrecją z wiatru gwiazdowego na szybko rotującego magnetycznego białego karła. Jasność białych karłów jest największa w symbiotycznych nowych a najmniejsza w symbiotycznych propellera (Tomov 2003). Ważną formą zmian jasności jest tzw. *flickering*. Jest to szybka, nieregularna zmiana jasności o okresie od kilkunastu sekund do kilkudziesięciu minut. Zmienność ta wiązana jest z akrecją materii na gorący składnik. Natomiast w gwiazdach symbiotycznych jeśli występuje to najczęściej w fazach zwiększonej aktywności.

Rozdział 1

Wprowadzenie

1.1 Opis układu

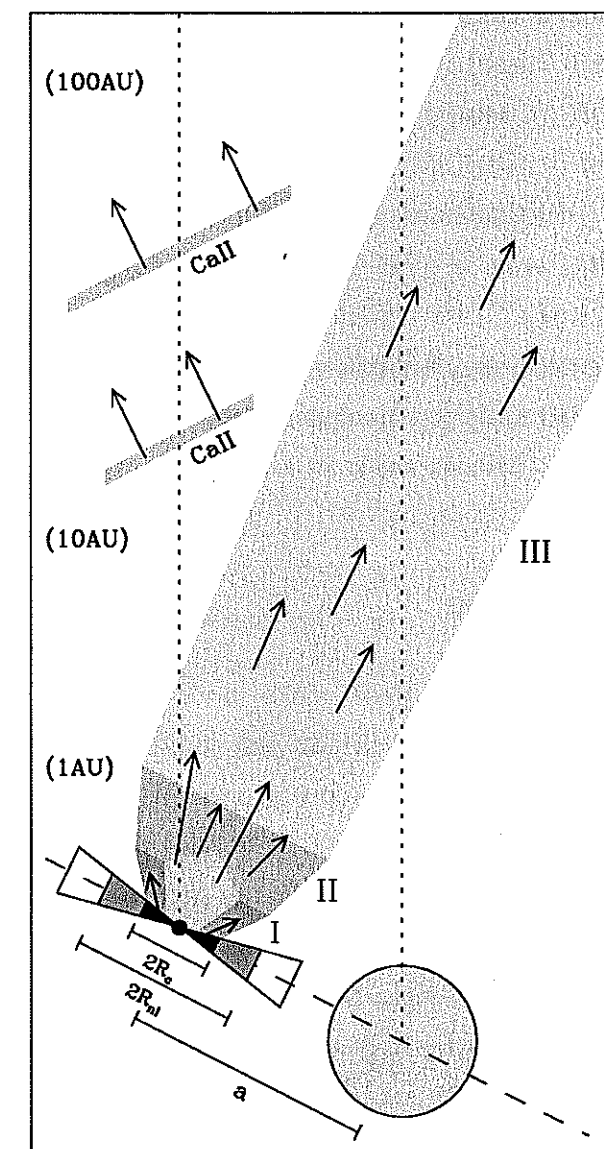
Osobliwa natura gwiazdy symbiotycznej *MWC 560* (*V694 Mon*) po raz pierwszy została zanotowana w katalogu gwiazd Be i Ae przez Merrill'a i Burwell'a (1943). Zauważone zostały linie emisyjne HI i CaII K ze składnikami absorpcyjnymi przesuniętymi ku fioletowi o około 1000 km s^{-1} . Emisja w serii Balmera oraz przesunięte ku fioletowi absorpcje również zostały zauważone 30 lat później przez Sanduleak'a i Stephenson'a (1973). Zauważyli także pasma TiO i sklasyfikowali ten obiekt jako M4 z osobliwymi liniami emisyjnymi.

Jak się później okazało obiekt ten jest bardzo unikalny, ponieważ linia widzenia jest niemalże równoległa do linii wypływu dżetów. Ułożenie takie zostało zaproponowane przez Tomov'a i in. w 1990 roku po zaobserwowaniu wybuchu, podczas którego jasność wzrosła o około 2 mag i wyniosła w paśmie fotograficznym około 9^m4 . Widma ukazywały widowskowe zmiany szybko poruszających się profili absorpcyjnych HI i CaII. Po roku 1990 częściej zaczęto obserwować gwiazdę *MWC 560* spowodowane było tym, że gwiazda okazuje się jak do tej pory jedynym obiektem astrofizycznym o tak unikalnej orientacji w przestrzeni. Pozwoliło by to może zobaczyć pobliskie rejony gorącego składnika i poznanie procesu tworzenia się dżetu oraz jego przyspieszanie.

Układ *MWC 560* znajduje się bardzo blisko płaszczyzny Galaktyki w odległości około 1 – 3 kpc (Zhekov et al. 1996). Chłodnym składnikiem jest zwykły olbrzym typu M4-5III (Thakar i Wing, 1992) tracący materię (Schmid et al. 2001 oszacowali typ na M5.5III), którą z kolei akreuje przypuszczalnie magnetyczny biały karzeł (e.g., Tomov et al. 1997) a następnie wyrzuca w postaci dżetów. Zakłada się także istnienie dysku akrecyjnego, gdyż jako takiego dysku nie obserwuje się. Wnioskuje się to na podstawie istnienia dysków w innych obiektach astrofizycznych takich jak protogwiazdy, zwarte układy podwójne, źródła supermiękkich promieni X i w aktywnych jądrach galaktyk. Zatem uważa się, że rotująca magnetosfera konieczna jest do wytworzenia dżetów. Na podstawie historycznej

krzywej blasku (Luthardt 1991) oszacowany został okres orbitalny tego układu na ~ 2000 dni (Tomov et al. 1992) a późniejsze wyniki otrzymane przez Doroshenko et al. (1993) potwierdziły te przypuszczenia szacując okres na 1930 dni.

W 1998 roku Schmid et al. podjęli się wykonania monitoringu gwiazdy *MWC 560* uzyskując widma wykonane niemalże z dnia na dzień. Wynikiem tych obserwacji było stworzenie schematycznego modelu gwiazdy *MWC 560*, który przedstawiony jest na Rys. 1.1. Linie kropkowana na rysunku określają linię widzenia układu poprowadzone od



Rysunek 1.1: Schematyczny model układu *MWC 560* (Schmid et al. 2001).

czerwonego olbrzyma i gorącego składnika. Dżet jest podzielony na trzy obszary według właściwości odpowiadającym składnikom absorpcyjnym. Pierwszy obszar znajdujący się najbliżej dżetu (I) jest miejscem, gdzie dżet pojawia się z prędkością około 600 km/s . Drugi obszar (II) przyspiesza dżet do prędkości około $1500\text{--}2500 \text{ km/s}$ oraz trzeci obszar,

w którym następuje spowalnianie materii do około $900\text{--}1300\text{ km/s}$. W dysku akrecyjnym wyróżnione zostały także obszary powstawania gorącego kontinuum znajdującego się najbliżej gwiazdy (czarny obszar na rysunku) oraz obszar powstawania wąskich linii emisyjnych (szary obszar na rysunku). Rozmiary tych obszarów oszacowane są na odpowiednio $\sim 3 R_{\odot}$ i $\sim 10\text{--}30 R_{\odot}$. Są to obszary ukryte za dżetem. Dzięki dobrej jakości widm udało się im określić miejsce powstawania fal uderzeniowych na podstawie wąskich linii CaII o prędkościach rzędu tysięcy km/s .

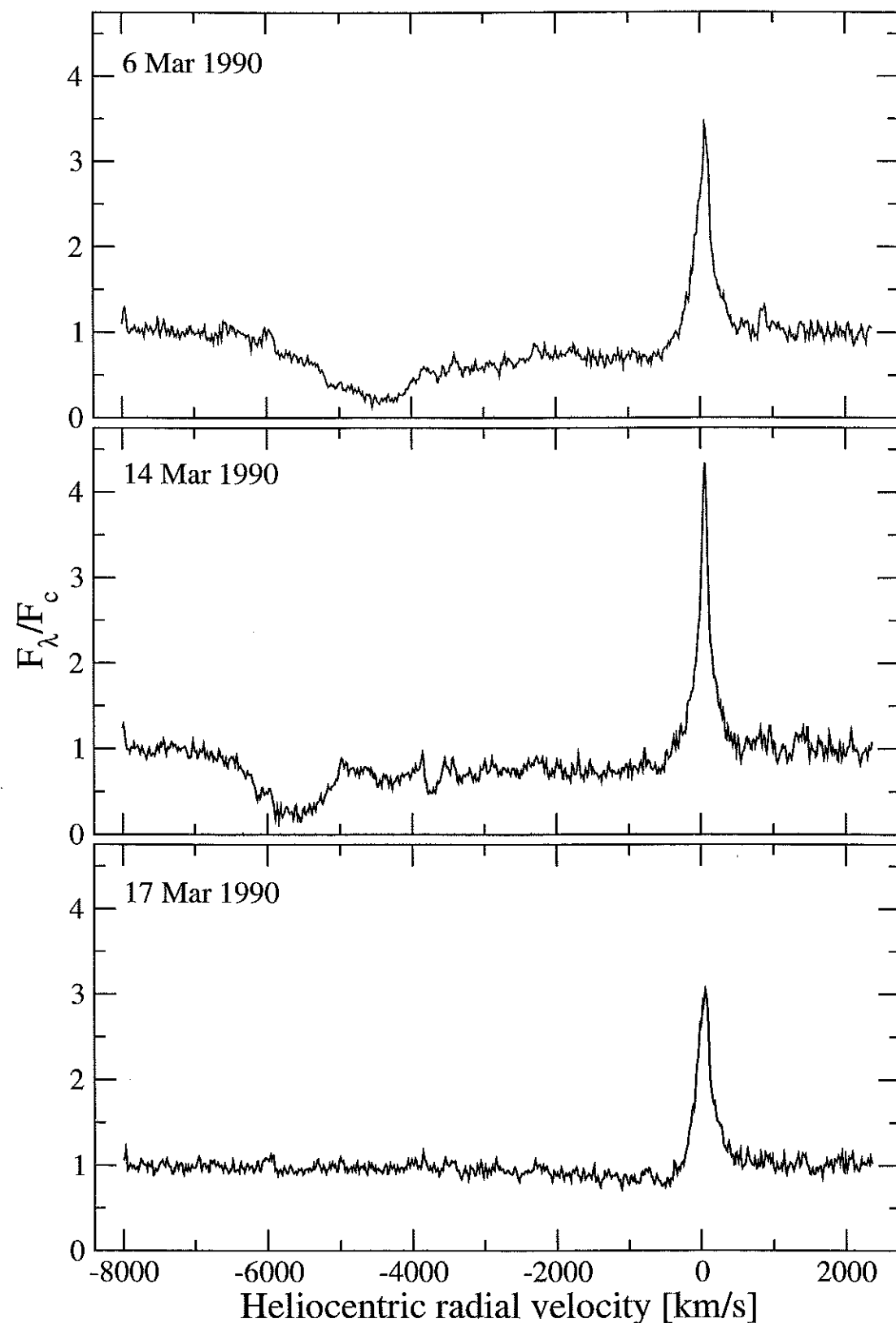
Schmid et al. wyznaczyli także takie parametry układu takie jak: nachylenie orbity ($< 16^{\circ}$), odległość ($2.5 \pm 0.7\text{ kpc}$), jasność gorącego składnika ($1000 L_{\odot}$), tempo akrecji ($\dot{M}_{acc} \sim 5 \times 10^{-7} [M_{\odot}\text{rok}^{-1}]$), tempo wypływu dżetu ($\dot{M}_{jet} > 7 \times 10^{-9} [M_{\odot}\text{rok}^{-1}]$). Nie są to jednak ostateczne parametry, gdyż pomimo dobrej jakości i rozdzielczości widm nie udało się im wyznaczyć jednoznacznie okresu orbitalnego dla tego układu.

Gwiazda *MWC 560* wraz z *CH Cyg* są prototypami klasy symbiotycznych propellerów (Mikołajewski et al. 1996), gdzie *CH Cyg* widziana jest w płaszczyźnie dysku a *MWC 560* prostopadle do niego. Analiza widmowa nie daje żadnych dowodów na ruch orbitalny co sugeruje bardzo mały kąt nachylenia orbity zatem orientacja *face-on* jest najbardziej prawdopodobna (Mikołajewski et al. 1998).

1.2 Cechy widmowe

Gwiazda *MWC 560* znajduje się dość nisko nad horyzontem dlatego obserwacje prowadzone są sezonowo. Widmo tego układu jest jedyne w swoim rodzaju. Orientacja w przestrzeni układu powoduje, że patrzymy w głąb dżetu przez to wypływający gaz widzimy w absorpcji (Tomov et al. 1990). Tak widziany dżet powoduje, że profile absorpcyjne serii Balmera przechodzą duże wahania prędkości radialnych od około $300\text{--}500$ do $6000\text{--}7000\text{ km s}^{-1}$. Widoczne są także szybko zmienne przesunięte ku fioletowi składniki takich pierwiastków jak HeI, NaI czy też zjonizowanych pojedynczo metali CaII i FeII. Radykalne zmiany zachodziły także w samym profilu podczas największego zaobserwowanego wybuchu w 1990 roku. Był to także jedyny sezon obserwacyjny, w którym profil absorpcyjny całkowicie zanika w skali kilku dni by ponownie się pojawić na wysokich prędkościach radialnych rzędu kilku tysięcy km s^{-1} (Rys. 1.2). W sezonie obserwacyjnym (grudzień '90-marzec '91) prędkość radialna zmalała do około kilkuset km s^{-1} a sam profil absorpcyjny pozostawał mniej więcej na tych samych prędkościach radialnych. Kształt profilu ulegał zmianom lecz nie były one tak nieregularne jak podczas pierwszego sezonu obserwacyjnego. W następnym sezonie przypadającym na okres sierpień '91 - marzec '92, prędkość wzrasta do około 2000 km s^{-1} i pozostaje podobna do dziś. Analizując ten schemat zmian prędkości radialnych Tomov i Kolev

(1997) zaproponowali dwa różne sposoby wyrzucania materii przez gorący składnik w *MWC 560* - *dyskretne* i *quasi-stacjonarne*. Dyskretne wypływy pojawiają się jedynie w pierwszym okresie obserwacyjnym kiedy to nastąpił wybuch. Następnie prędkość się stabilizuje do quasi stacjonarnych wypływów.



Rysunek 1.2: Zmiany profilu absorpcyjnego w linii $H\beta$ na przestrzeni kilku dni (widma z Rozhen).

Rozdział 2

Obserwacje, redukcja i pomiary

2.1 Obserwacje

Użyte przeze mnie widma pochodzą z sześciu różnych obserwatoriów. Widma z Asiago (Włochy) wykonane były 1.82 m teleskopem umieszczonym na Mt. Ekar przy wykorzystaniu spektrografu echelle wysokiej rozdzielczości. Obejmowały one zakres długości fal między 3800 a 7000 Å. Dość znaczna część widma pochodziła z Narodowego Astronomicznego Obserwatorium w Rozhen (Bułgaria). Wykonane one zostały 2 m teleskopem Ritchey'a-Chretien'a przy użyciu spektrografu *coude*. Zarejestrowane były przy pomocy kamery CCD a każde z widm pokrywało jedynie zakres w liniach $H\alpha$, $H\beta$ albo NaI . Widma z Rozhen zawierały też widma wykonane na płytach fotograficznych zrobione w latach 1990 – 93. Każde widmo fotograficzne pokrywało przedział długości fal między 3600 Åa 4900 Å. Widma z Argentynie wykonano w obserwatorium Complejo Astronomico El Leoncito w San Juan 2.15 m teleskopem. Użyto do tego wysokiej rozdzielczości spektrografu echelle REOSC. Spektrograf ten pokrywał zakres 3800 – 7000Å. W Meksyku widma wykonano 2.1 m teleskopem w obserwatorium San Pedro Martir. Użyty spektrograf echelle (ESPRESSO) pokrywał zakres 3600 – 6900Å. W pracy tej zawarte również zostały widma pochodzące z monitoringu grupy Schmid'a z przełomu 1998 – 99 roku. Wykonane one zostały 1.5 m teleskopem ESO w La Silla przy użyciu spektrografu echelle wysokiej rozdzielczości FEROS (Fiber-fed Extended Range Optical Spectrograph). Spektrograf ten posiada szeroki zakres pokrywający długości fal od 3700Ådo 9000Å. Monitoring ten prowadzony był niemalże z dnia na dzień. Została także zawarta jedna noc obserwacyjna z Obserwatorium Paranal (Atakama, Chile) teleskopem VLT. Widmow to zostało wykonane w Wykorzystano przy tym spektrograf UVES (Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph) o dużej rozdzielczości, pokrywający zakres 3000 – 5000Åw paśmie niebieskim oraz 4200 – 11000Åw paśmie czerwonym.

W celu możliwości porównania profili liniowych z widm echelle powycinałem interesujące mnie zakresy długości fal, mianowicie w liniach $H\alpha$, $H\beta$ i NaI . Wykonałem

to przy pomocy jednej z procedur `scopy` zawartych w programie IRAF.

2.2 Redukcja widm

Przed przystąpieniem do jakichkolwiek pomiarów musiałem wpierw wykonać obróbkę widm wykonanych w Rozhen. Widma te pochodziły z okresu 1997 – 2001. W skład tej próbki weszło osiem nocy obserwacyjnych zawierających widma gwiazdy *MWC 560* w liniach *H α* i *NaI*. Do tego posłużył mi program IRAF.

Na obraz kamery CCD oprócz nocnego nieba i widma obiektu nas interesującego nakładają się efekty pochodzące od zanieczyszczeń na samym detektorze CCD. Pochodzące głównie od pyłków i kurzu. Podczas długich ekspozycji pojawiają się wyraźnie jaśniejsze piksele na widmie rozmieszczone na całej matrycy, które pochodzą od promieniowania kosmicznego. Rejestrowane są także różne źródła szumów takie jak prąd ciemny, który związany jest z termicznym szumem czy też fakt, że w trakcie ekspozycji piksele posiadają nieszczytany ładunek termiczny z poprzednich ekspozycji. Redukcja obrazów pozwala na usunięcie tych wszystkich przyczynków aby otrzymać niezaszumione widmo gwiazdy. Aby przystąpić do redukcji wykonywane są także dodatkowo szereg obrazów kalibracyjnych takich jak *bias*, *dark* i *flat*. W przypadku dostępnych mi widm obrazy typu *dark* nie były wykonywane więc nie będą dalej omawiane. Na obrazie z widmem gwiazdy znajdują się dwa obszary: obszar z danymi *datasection* oraz tzw. *overscan*. Obszar ten nie zawiera żadnych zliczeń powstałych na matrycy lecz jedynie zliczenia powstałe na skutek szumów elektroniki i innych. Ten właśnie wąski obszar (w widmach z Rozhen od kilkunastu do kilkudziesięciu kolumn) definiuje poziom zerowy. W obrazach tych *overscan* umieszczony był wzdłuż osi dyspersji bądź do niej prostopadle. Następnie dopasowuje się wektor w obszarze *overscanu* i odjęcie go od obszaru *datasection*. Ten proces przechodzą wszystkie widma gwiazdy oraz wszystkie obrazy kalibracyjne. W tym celu wykorzystuje się jeden z pakietów IRAF'a *ccdprocessing*.

Obrazy typu *bias* powstają poprzez ekspozycję w czasie zerowym i przy zamkniętej migawce. Najczęściej robionych jest kilkanaście takich obrazów by następnie je uśrednić w celu zminimalizowania szumów. Do uśrednienia obrazów typu *bias* użyłem procedury *zerocombine*. Przeważnie taki średni *bias* nazywany jest jako *Zero*. Obraz *Zero* następnie odejmowany jest od wszystkich obrazów z widmami i obrazów typu *flat*.

Obrazy typu *flat* uzyskuje się poprzez ekspozycję jednolicie oświetlonego specjalną lampą ekranu, bądź też nieba tuż po zachodzie albo tuż po wschodzie Słońca. W przypadku widm z Rozhen była to ekspozycja oświetlonego ekranu. Obrazy te robione są dla każdego zakresu widmowego a następnie procedurą *flatcombine* uśredniane

są do tzw. *masterflat*'a. Aby dokonać korekcji na *flatfield* należy dla każdego zakresu widmowego wykonać znormalizowany *flat*. W tym celu wykorzystuje się pakiet *apflatten* bądź *apnormalize*. Następnie obrazy z widmami gwiazdy oraz obrazy z lampą porównania dzielone są przez znormalizowany *flat*.

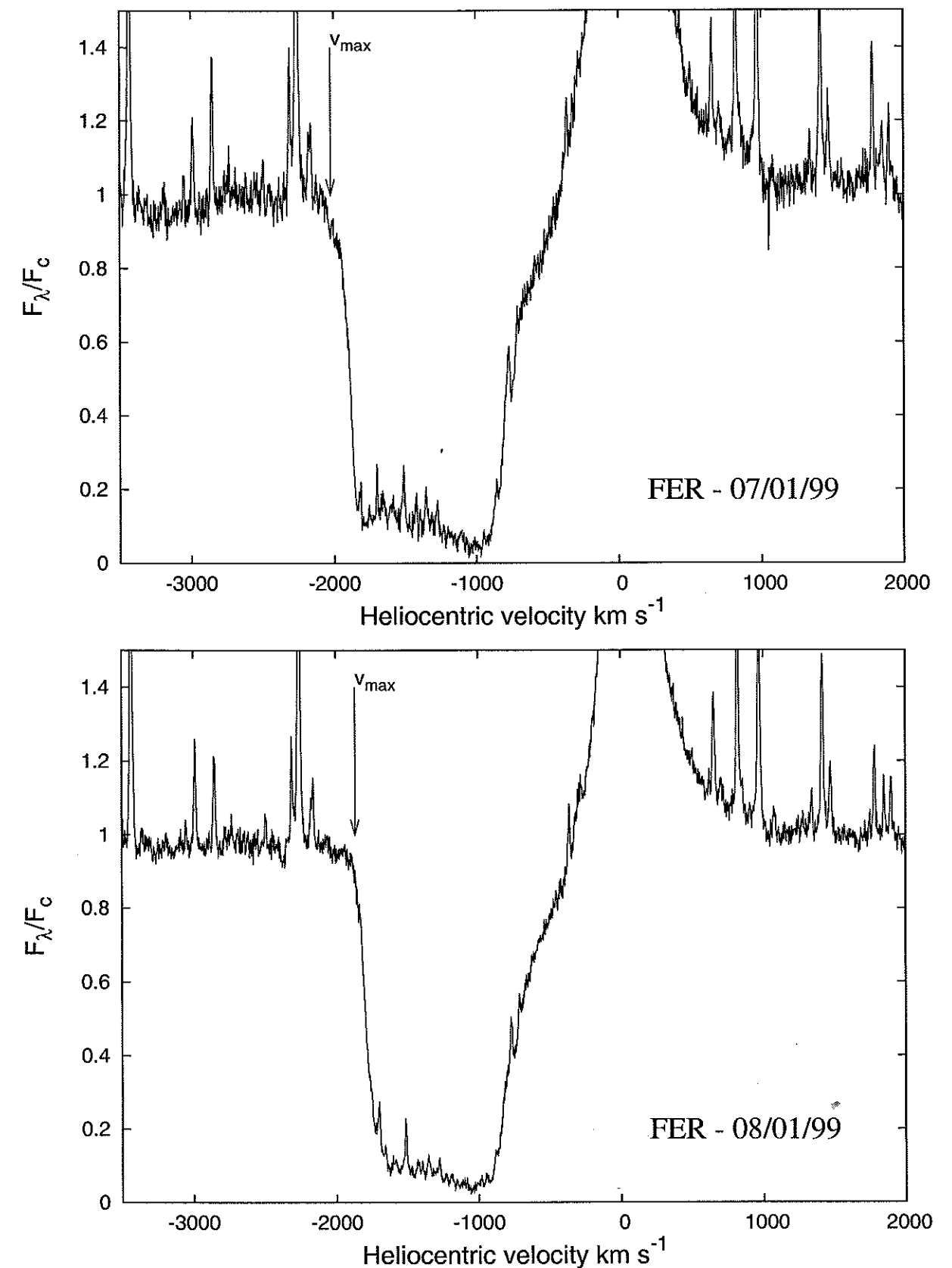
Do ekstrakcji widm dwuwymiarowych w widma jednowymiarowe służy pakiet *apall*. Mając już widma jednowymiarowe możemy teraz wykonać jednowymiarowe widma porównania również dla każdego zakresu widmowego. Następnie w jednowymiarowych widmach porównania należy zidentyfikować wpierw ręcznie kilka linii a potem można wykorzystać bazę danych do identyfikacji wszystkich. Do identyfikacji służy pakiet *identify*. W ręcznej identyfikacji pomógł mi atlas widmowy torowo-argonowej lampy porównania używanej na Rozhen. Po wykonaniu widm porównania należało wyedytować nagłówki (*header*) jednowymiarowych widm gwiazdy umieszczając w nich nazwę widma porównania. Pozwalało to przy użyciu kolejnej procedury *dispcor* ekstrakcję widm jednowymiarowych w długości fali. Na końcu zamieniłem rozszerzenia plików z widmami na *.fits* wykorzystując pakiet *wfits*. Tak przygotowane widma można użyć do jakichkolwiek dalszych pomiarów.

2.3 Poprawki heliocentryczne

Aby przystąpić do pomiarów prędkości radialnych długości fali w dostępnych mi widmach należało wykonać korektę na orbitalny ruch oraz na rotacyjny ruch Ziemi. Należało się upewnić czy wszystkie nagłówki są kompletne tzn. czy zawierają: czas startu ekspozycji, czas ekspozycji, rektascencję, deklinację, data obserwacji i informacja o obserwatorium, w którym zostało wykonane. Większość widm posiadało wszystkie potrzebne dane lecz nie w przypadku widm fotograficznych z Rozhen. Ich *headrey* nie posiadały żadnych z tych informacji. Zatem należało uzupełnić je do czego posłużył mi pakiet *hedit* oraz dziennik obserwacyjny *MWC 560* (Tomov, prywatna komunikacja). Po uzupełnieniu wszystkich nagłówków uruchomiłem pakiet *asthedit*, który wykorzystując wyżej wymienione dane by obliczyć dla każdego widma: czas UT środka ekspozycji, epokę, dzień juliański, średni czas gwiazdowy oraz masę powietrzną. Na tak przygotowanych widmach można użyć pakietu *rvcorrect*, który oblicza poprawki heliocentryczne i umieszcza je w nagłówku. Dopiero pakietem *dopcor* (*doppler correction*) zmieniam w heliocentryczne długości fali. Żeby można było mówić o jakimkolwiek porównywaniu widm wszystkie widma zostały znormalizowane do kontinuum pakietem *continuum*. Po takiej korekcji widm przystąpiłem do pomiarów prędkości radialnych.

2.4 Pomiary maksymalnej prędkości dżetu

Profil absorpcyjny występujący w widmie gwiazdy *MWC 560* nie jest profilem typu *P Cyg*, charakterystycznym dla sferycznych wypływów materii z gwiazdy, z którym wiąże się wiatr gwiazdowy. Graniczna prędkość radialna definiowana jest jako prędkość, którą wiatr bądź wypływająca materia osiąga na dużych odległościach od centralnej gwiazdy, gdzie nie jest już napędzana przez siłę napędową wypływu. Materia spowalniana jest jedynie przez ośrodek międzygwiazdowy. W przypadku *MWC 560* mamy do czynienia z dżetem wzdłuż osi widzenia i nie jest to wypływ sferyczny jak w przypadku *P Cyg*. Z tego powodu na widmach wykonałem pomiar maksymalnej prędkości radialnej dżetu. Jeśli profil absorpcyjny dżetu posiadał ostre ograniczenie od strony fal krótkich wówczas pomiar wykonywałem w miejscu blisko kontinuum. Schematycznie przedstawione to zostało na Rys. 2.1 (dolny panel). Jednakże profile absorpcyjne dżetu *MWC 560* przechodzą szybkie zmiany profil absorpcyjny następnego czy też poprzedniego dnia nie wygląda już tak samo. Niekiedy zdarza się, że całkowicie zmienia wygląd. Z tego powodu pomiar maksymalnej prędkości radialnej dżetu nie odbywał się na podstawie tych samych kryteriów. W skali dni pojawiały się i znikwały przyczynki pochodzące od szybszej czy też wolniejszej materii tworząc w profilu szersze skrzydła nie pokazujące ostrego ograniczenia od strony fal krótkich. W takich i podobnych przypadkach pomiar wykonywałem mniej więcej w centralnej części końcowej części skrzydła profilu absorpcyjnego. Schematycznie pomiar taki przedstawiony jest na górnym panelu Rys. 2.1. Zmiany jakim podlegał profil absorpcyjny niepozwalają na wykonanie jednolitego pomiaru maksymalnej prędkości radialnej. Pomiary wykonywałem niekiedy intuicyjnie w miejscu, które uważałem za słuszne. Pomiar taki przeprowadzany był z dokładnością kilku pikseli. Dla każdego widma został przeprowadzony jedynie jeden pomiar maksymalnej prędkości. Do pomiaru używałem jednej z procedur IRAF'a a mianowicie *splot*. Tak oszacowane przeze mnie maksymalne prędkości radialne dżetu wiązałyby się z błędami $\pm 100 \text{ km/s}$. Ponieważ dla dużej większości pomiarów prędkości osiągają wartości rzędu tysięcy km/s z tego powodu w tabelach 5.1-5.5 oraz 5.6-5.13 (Dodatek B) nie umieściłem błędów z jakimi wiązał się każdy pomiar.



Rysunek 2.1: Przykłady pomiarów maksymalnej prędkości radialnej dżetu w przypadku braku ostrego ograniczenia profilu (górny panel) oraz w przypadku, gdzie pewnego pomiaru tejże prędkości.

Rozdział 3

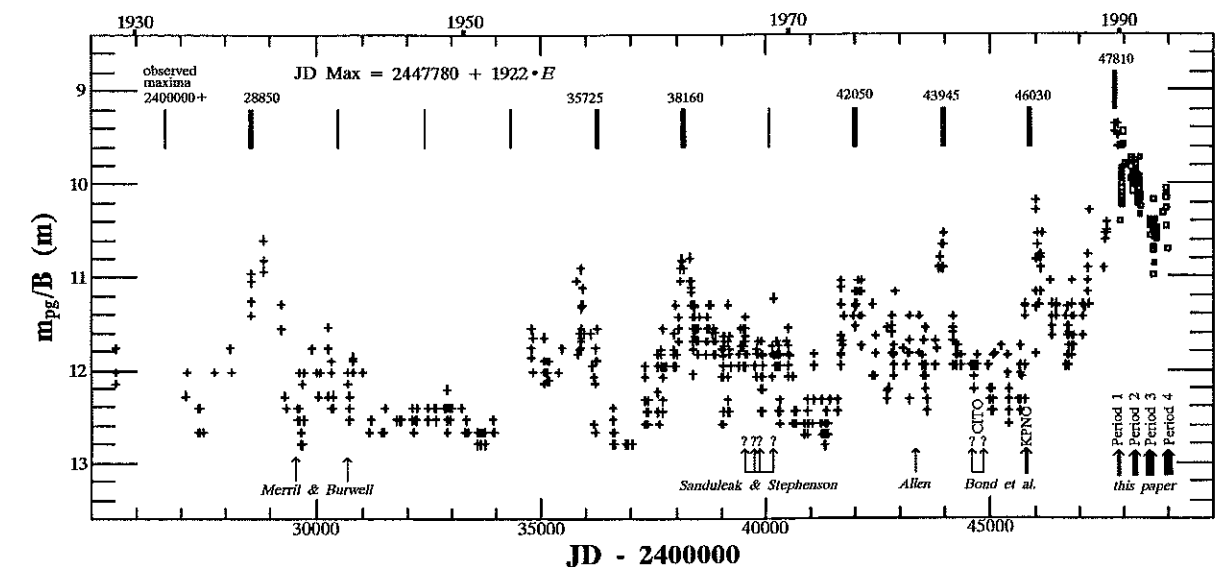
Zmiany blasku *MWC 560*

3.1 Historyczne obserwacje

Historyczna krzywa blasku (Luthardt 1991) została wykreślona na podstawie nieregularnych obserwacji fotograficznych prowadzonych między 1930 a 1990 rokiem, kiedy to gwiazda osiągnęła maksymalną zanotowaną jasność (Rys. 2.1). W górnej części rysunku pionowe kreski określają obserwowane maksima jasności, które jednocześnie wskazują na okres orbitalny układu około 1900 dni. Punkty oznaczone kwadratami są to obserwacje przeprowadzone przez Tomov'a (Rozhen, Bułgaria) i Mikołajewskiego (Piwnice, Toruń). Natomiast w dolnej części rysunku zaznaczone są strzałkami miejsca, w których prowadzili obserwacje przez Merril'a i Burwell'a koło 1940 roku, Sanduleak'a i Stephenson'a koniec lat 60-tych, Allen lata 70-te, Bond et al. 1984 oraz Tomov i Mikołajewski 1990-93.

Z analizy historycznej krzywej blasku wynika, że gwiazda większość czasu spędzała w przedziale jasności $12^m - 11^m$. Okazjonalnie w latach 1943 – 1953, prawdopodobnie w 1963 oraz 1970 – 1972 przechodziła płaskie minima z $m_{pg} = 12^m.5$. Wydaje się, że jest to najniższa jasność fotograficzna i prawdopodobnie wskazuje na fazę, w której gorący składnik pozostaje nieaktywny. Z kolei maksima mogą powstawać na skutek zwiększonej aktywności gorącego składnika podczas przejścia przez periastron (Mikołajewski et al. 1996).

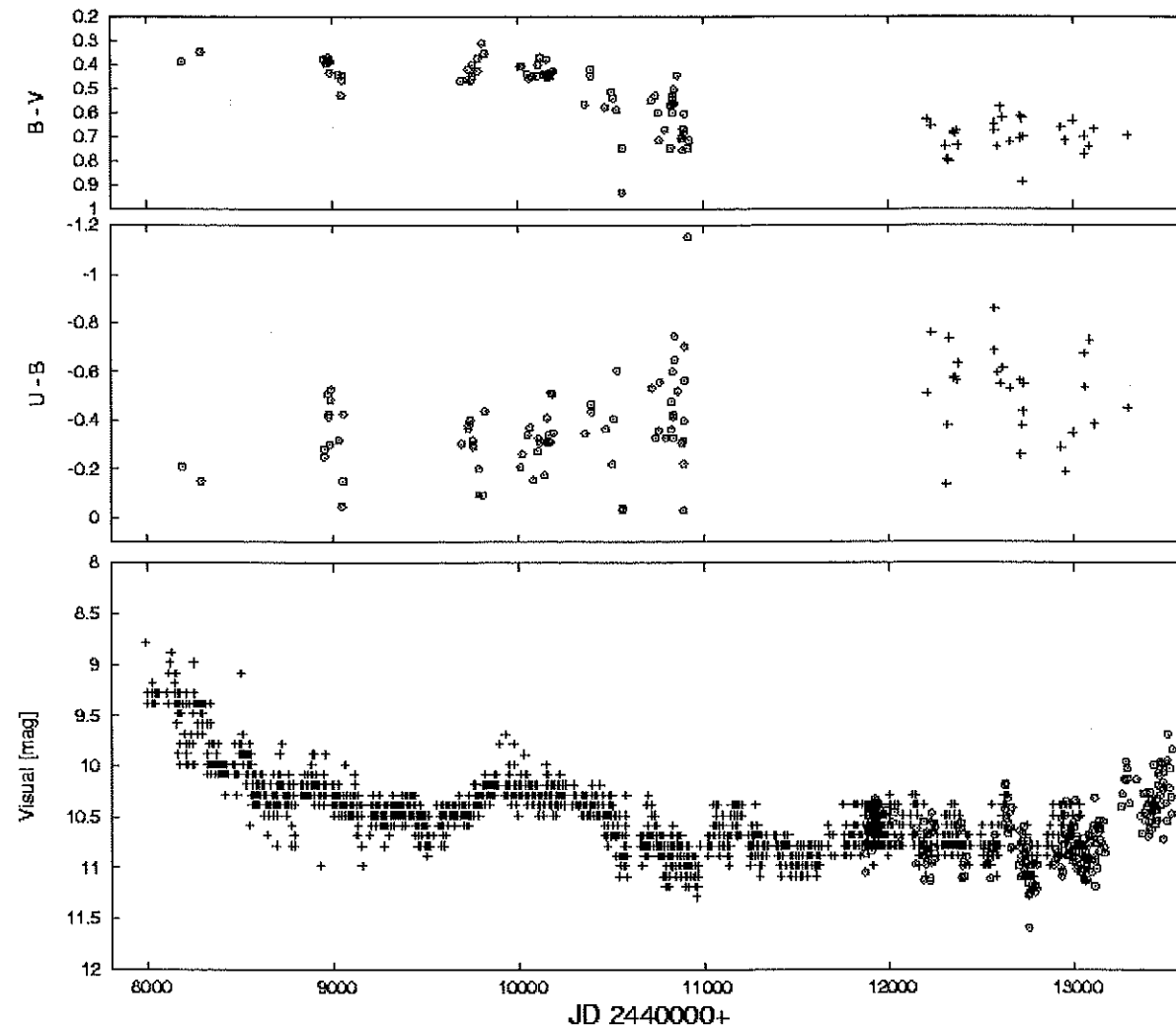
O obecności flikeringu w *MWC 560* wspomniano po raz pierwszy w 1984 roku (Bond et al. 1984). Kolejne obserwacje pokazywały flikering o amplitudzie $-0^m.2$ w filtrze U praktycznie nieprzerwanie (Michalitsianos et al. 1993, Dobrzycka et al. 1996, Sokoloski et al. 2001). Na początku 1998 roku amplituda flikeringu osiągnęła poziom $-0^m.7$ (Mikołajewski et al. 1998).



Rysunek 3.1: Historyczna krzywa blasku wykreślona z fotograficznych obserwacji między 1930 rokiem a 1990 (Tomov, prywatna komunikacja).

3.2 Krzywa blasku 1990-2005

Poniżej przedstawiona przeze mnie krzywa blasku (Rys 3.2) została wykreślona na podstawie danych fotometrycznych z polskiego projektu ASAS (All Sky Automated Survey) (ASAS ID=V0694 Mon (072551-0744.1)). Razem z tymi danymi nałożone zostały amatorskie obserwacje Alberta Jones'a (Jones, prywatna komunikacja). Dane obserwacyjne Jones'a zostały skorygowane o $-0^m.22$. Obserwacje Jones'a były prowadzone z różnicą czasu UT około 4 godzin. Pokazywały one systematyczną nadwyżkę jasności ($-0^m.22$), która prawdopodobnie spowodowana była z wybraną gwiazdą porównania (Tomov et al. 1996). Krzywą blasku została porównana ze wskaźnikami barwy $U - B$ i $B - V$. Dane te pochodzą z fotometrycznych obserwacji prowadzonych przez Cezarego Gałana w Piwnicach oraz z obserwacji fotometrycznych prowadzonych na Rozhen (Tomov, prywatna komunikacja). Dane Cezarego Gałana były prowadzone fotometrią różnicową i zawierały wartości różnicy między gwiazdą zmienną a gwiazdą porównania w wielkościach gwiazdowych. Jako gwiazdę porównania wybrał obiekt SAO 134638 o jasności $V = 8^m.41$ oraz o wskaźnikach barwy $U - B = 0^m.12$, $B - V = 0^m.26$. Znając te wskaźniki barwy dodatkowo wyliczyłem jasności B i U gwiazdy porównania. Zatem wartości $V = 8^m.41$, $U = 8^m.63$ i $B = 8^m.67$ posłużyły mi do skorygowania danych z fotometrii różnicowej. Widać, na panelu $B - V$, że temperatura obiektu malała cały czas odkąd nastąpił wybuch.



Rysunek 3.2: Rysunek przedstawiający porównanie krzywej blasku z okresu 1990-2005 (dolny panel krzyże-Jones, koła-ASAS) ze wskaźnikami barw $U - B$ i $B - V$ (krzyże-Piwnice, koła-Rozhen).

Rozdział 4

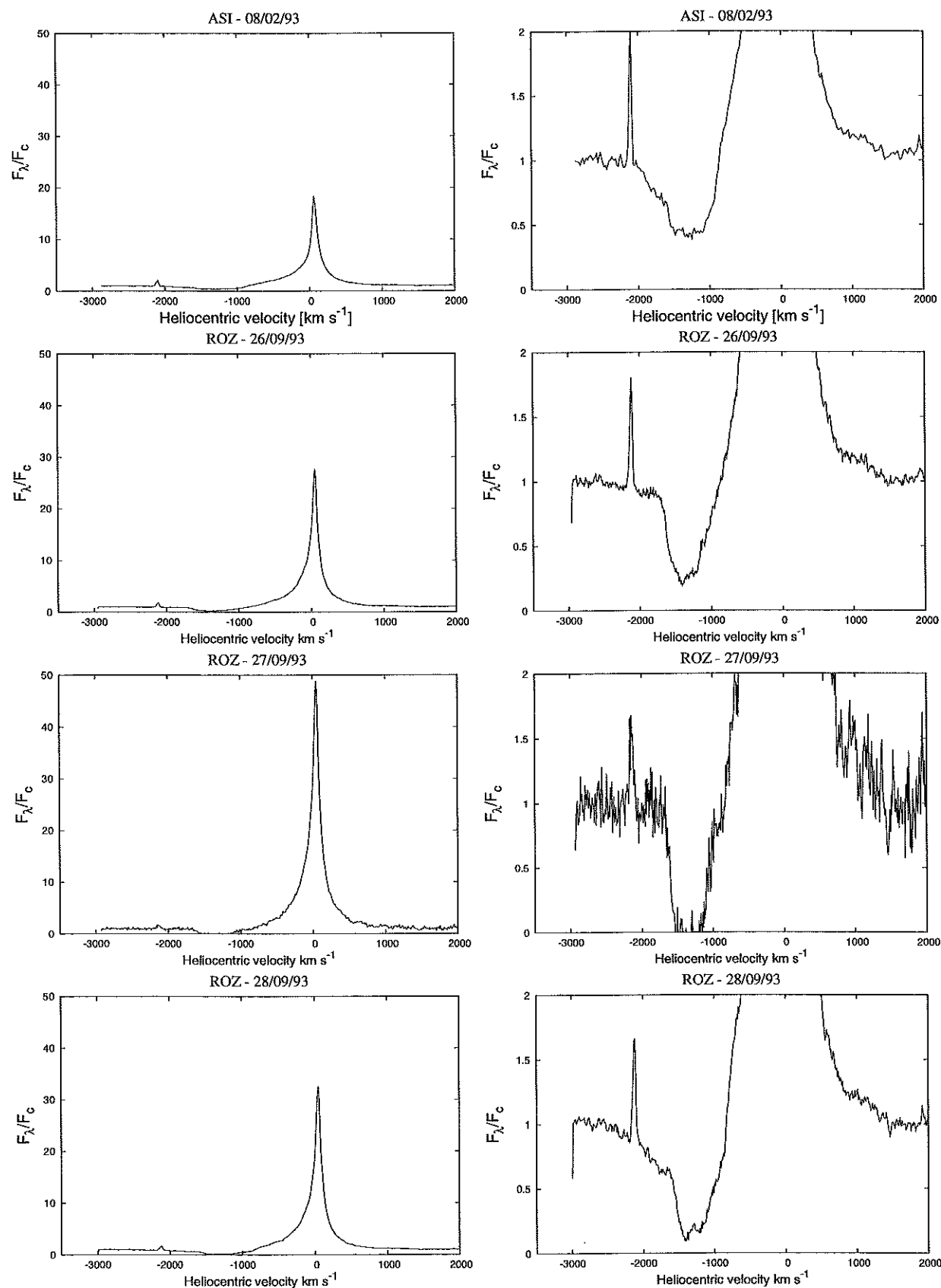
Zmiany widmowe *MWC 560*

4.1 Atlas widmowy

W tej części pracy opiszę wykonany przeze mnie a umieszczony w dodatku atlas widmowy linii $H\alpha$, $H\beta$ oraz NaI . Każda strona atlasu zawiera dwie kolumny obrazków. Lewa kolumna ukazuje widok na cały profil emisyjny wraz z profilem absorpcyjnym natomiast prawa kolumna przedstawia zbliżenie tylko profilu absorpcyjnego Rys. 4.1. W przypadku atlasu linii NaI lewa kolumna ukazuje zakres widmowy, w którym widać jednocześnie gwiazdowy dublet sodu i międzygwiazdowy. Natomiast w prawej kolumnie widać jedynie międzygwiazdowy dublet sodu. Dla każdej linii widma uszeregowane są datami rosnąco. Nad każdym widmem znajduje się opis jego wskazujący na miejsce i datę wykonania. Rozszyfrowane skróty przedstawiam poniżej.

- ROZ - Rozhen, Bułgaria
- ASI - Asiago, Włochy
- FER - Las Palmas, Chile - skrót od nazwy spektografu (FEROS)
- ARG - San Juan, Argentyna
- MEX - San Pedro, Meksyk
- UVE - Atakama, Chile - skrót od nazwy spektografu (UVES)

Wszystkie rysunki mają jednakowy zakres prędkości radialnych (oś x) jak i zakres F_λ/F_c^{-1} (oś y) w celu możliwości porównania widm ze sobą. Wyjątek stanowią widma linii $H\beta$ z okresu 1990-1993 (widma z Rozhen). Ich zakresy prędkości radialnych zostały zwiększone w celu ukazania profili absorpcyjnych o dużych prędkościach radialnych.



Rysunek 4.1: Przykładowa strona z atlasu widmowego linii $H\alpha$.

Atlas ten stworzony został by pokazać bardziej szczegółowo zmiany jakie zachodzą w profilu absorpcyjnym na przestrzeni 15 lat. W pracy Tomov et al. (1997) zostały wyróżnione dwa sposoby wpływu dżetów dyskretny i quasi-stacjonarny (okres 1990-1991 w linii $H\beta$) momenty te można również za uważać w tym atlasie. Widać również, że kształt profilu uległ dużej zmianie podczas gdy prędkości zmalały do kilkuset km/s . Znajdują się też widma, na których całkowicie zanika profil absorpcyjny (marzec 1990) dzieje się to 3 dni po osiągnięciu największej zanowtowanej prędkości radialnej. Zakres dodatknych prędkości radialnych został uwzględniony z tego powodu, że na niektórych widmach można dostrzec drugi składnik emisyjny. Jest on związany z oddalającym się od nas dżetem.

4.2 Zmiany amplitudy *flickeringu*

Poprzednio przy omawianiu atlasu widmowego rozważane były zmiany widmowe a mianowicie zmiany maksymalnych prędkości radialnych dżetu zatem warto również wspomnieć o zmianach amplitudy *flickeringu*. W tej części rozdziału przedstawię wyniki obserwacji *flickeringu* z Rozhen, Piwnic i Kryoneri (Grecja) wykonanych w paśmie U.

Tabela 4.1 przedstawia obserwacje wykonane w Piwnicach teleskopem 60 cm. Przedstawia ona obserwacje prowadzone w Piwnicach pod Toruniem przez Mikołajewskiego, Janowskiego, Holowacza i Maciejewskiego (Janowski 1999). Dyspersja jasności może być spowodowana fizyczną zmiennością gwiazdy badanej oraz przez szum fotonowy pochodzący zarówno od gwiazdy badanej jak i gwiazdy porównania. W przypadku obserwacji z Piwnic Janowski (1999) porównywał dyspersje jasności gwiazdy kontrolnej σ_{check} i gwiazdy zmiennej σ_{var} . Przyjęte zostało, że odchylenie standardowe jasności gwiazdy kontrolnej wyznacza poziom szumu σ_{szum} zdefiniowanej równaniem 4.1

$$\sigma_{szum} = \sigma_{check} \sqrt{\frac{F_{check}}{F_{var}}} \sqrt{\frac{t_{check}}{t_{var}}} \quad (4.1)$$

gdzie F_{check} i F_{var} to strumienie gwiazdy kontrolnej i zmiennej, a t_{check} i t_{var} to czasy ekspozycji tych gwiazd. W następnym kroku autor wyliczał σ_{flick} ze wzoru 4.2.

$$\sigma_{flick} = \sqrt{\sigma_{var}^2 - \sigma_{szum}^2} \quad (4.2)$$

Tak otrzymana wartość σ_{flick} wiązała się jedynie z efektami zmienności własnej gwiazdy. Za amplitudę *flickeringu* przyjęta została wartość $\pm 3\sigma_{flick}$.

Tabela 4.1: Wyniki obserwacyjne flikeringu z Piwnic dla gwiazdy *MWC 560*(Janowski 1999).

JD	Data	σ_{var}	σ_{szum}	σ_{flick}	ΔF
2450897	24/03/99	0.2569	0.094	0.239	1.389×10^{-12}
2451199	20/01/99	0.1758	0.114	0.134	1.187×10^{-12}
2451220	10/02/99	0.1247	0.084	0.092	8.764×10^{-13}
2451254	16/03/99	0.5121	0.216	0.464	3.808×10^{-12}
2451256	18/03/99	0.0.1642	0.145	0.077	6.908×10^{-13}

gdzie:

- σ_{var} - dyspersja jasności gwiazdy porównania
- σ_{szum} -dyspersja jasności gwiazdy kontrolnej
- σ_{flick} - jest dyspersją flikeringu
- ΔF - amplituda flikeringu podana jest w jednostkach strumienia [$erg s^{-1} cm^{-2} \text{\AA}^{-1}$]

Kolejne obliczenia przedstawię dla obserwacji wykonanych w obserwatorium Kryoneri w Grecji. Należy zauważyć, że obliczenie amplitudy flikeringu w jednostkach strumienia w przypadku danych obserwacyjnych z Grecji dokonuje się inną metodą. Obserwacje w Grecji wykonane zostały fotometrią CCD. Widma fotometryczne zostały zredukowane przez Mariusza Gromadzkiego natomiast wartości dyspersji jasności wzięte zostały z pracy Gromadzki et al. 2005. W tabelce 4.2 zestawione są wartości dyspersji jasności. Przy obliczaniu flikeringu na podstawie danych z Grecji ewentualną zmienność gwiazdy porównania zostaje pominięta w celu pominięcia nałożenia się szumów pochodzących od gwiazdy porównania i standardu. Jako gwiazdę porównania została wybrana gwiazda USNO-B1.0=0822-0179335 o jasności $V = 10^m 784$ oraz o wskaźnikach barwy $B - V = 1^m 725$ i $U - B = 1^m 849$ z tych wartości wyliczyłem jasność gwiazdy porównania w paśmie U wynoszącej $14^m 358$. Tabela przedstawiona w Gromadzki et al. 2005 zawierała wartości różnicy między gwiazdą zmienną a gwiazdą porównania, dyspersję różnicowej krzywej blasku dla tej wartości, różnicę między słabszą a jaśniejszą gwiazdą porównania i również dyspersję jasności dla tejże różnicy. W celu wyliczenia σ_{flic} wykorzystałem dyspersję różnicowej krzywej blasku σ_{U_v} i σ_{U_c} i podstawilem do wzoru 4.3.

$$\sigma_{flick} = \sqrt{\sigma_{U_v}^2 - \sigma_{U_c}^2} \quad (4.3)$$

Tabela 4.2: Wyniki obserwacyjne flikeringu dla gwiazdy *MWC 560* (Gromadzki et al. 2005).

JD	Data	σ_{U_v}	σ_{U_c}	σ_{flic}	ΔF
2452602	23/11/2002	0.146	0.075	0.125	5.32×10^{-15}
2452603	24/11/2002	0.087	0.074	0.046	1.91×10^{-15}
2452608	29/11/2002	0.086	0.055	0.066	2.77×10^{-15}
2452609	30/11/2002	0.102	0.046	0.091	3.83×10^{-15}

gdzie:

- σ_{U_v} - dyspersja różnicowej krzywej blasku (zmienna-porównania)
- σ_{U_c} - dyspersja różnicowej krzywej blasku (słabsza porównania-jaśniejsza porównania)
- σ_{flic} - dyspersja flikeringu - ΔF - amplituda flikeringu podana jest w jednostkach strumienia [$erg s^{-1} cm^{-2} \text{\AA}^{-1}$]

Również i w tym przypadku za amplitudę flikeringu przyjmowana jest wartość $\pm 3\sigma_{flick}$. Do otrzymanej wcześniej wartości $U_{var} = 14^m 358$ dodałem $3\sigma_{flick}$ uzyskując U_{min} oraz odjąłem otrzymując U_{max} . Dla tych wartości wyliczyłem strumień ze wzoru

$$U = -2.5 \log \left(\frac{F}{F_{U=0}} \right) \quad (4.4)$$

gdzie F jest szukanym F_{min} bądź F_{max} , natomiast $F_{U=0}$ jest strumieniem w paśmie U dla $U = 0$. Wartość ta została empirycznie wyznaczoną w pracy Bessel'a et al.(1998) i wynosi

$$F_{U=0} = 417.5 \times 10^{-14} [erg s^{-1} cm^{-2} \text{\AA}^{-1}] \quad (4.5)$$

Następnie odejmując wartości F_{min} i F_{max} otrzymałem amplitudę flikeringu w

jednostkach strumienia.

Kolejne dane obserwacyjne pochodzą z Rozhen były one przeprowadzane w latach 1990-1993. W przypadku tych danych nie było dyspersji jasności gwiazdy porównania ani dyspersji jasności gwiazdy zmiennej. Wartości jakie były to σ_0 i σ_1 . Pierwsza wielkość jest uśrednioną dyspersją jasności na całej długości krzywej blasku. Następnie krzywa blasku dzielona była na kilkunasto minutowe przedziały i wyznaczane były średnie wartości jasności dla każdego przedziału. Do tych średnich wartości dopasowywany był spline. Dyspersję jasności takiego dopasowania charakteryzuje wielkość σ_1 . Dyspersja flikeringu σ_{flick} wyliczona została ze wzoru 4.6.

$$\sigma_{flick} = \sqrt{\sigma_0^2 - \sigma_1^2} \quad (4.6)$$

Wartość średnia jasności U wyliczana była ze średniej arytmetycznej najmniejszej i największej jasności w danym dniu obserwacyjnym. Następnie do U_{av} dodawałem i odejmowałem $3\sigma_{flick}$. Otrzymałem w ten sposób maksymalną i minimalną wartość U . Z kolei dla U_{min} i U_{max} wyliczałem strumień również korzystając ze wzoru 4.4. Amplitudę flikeringu ΔF obliczyłem odejmując od siebie wartości F_{min} i F_{max} . Wyniki obliczeń zestawione zostały w tabeli 4.3.

Należy zaznaczyć, że wartości amplitudy flikeringu uzyskane dla danych fotometrycznych z Rozhen dają nieco zawyżone wartości amplitudy. Spowodowane jest to tym, że wykorzystana metoda obliczania σ_{flic} odnosi się do fotometrii różnicowej.

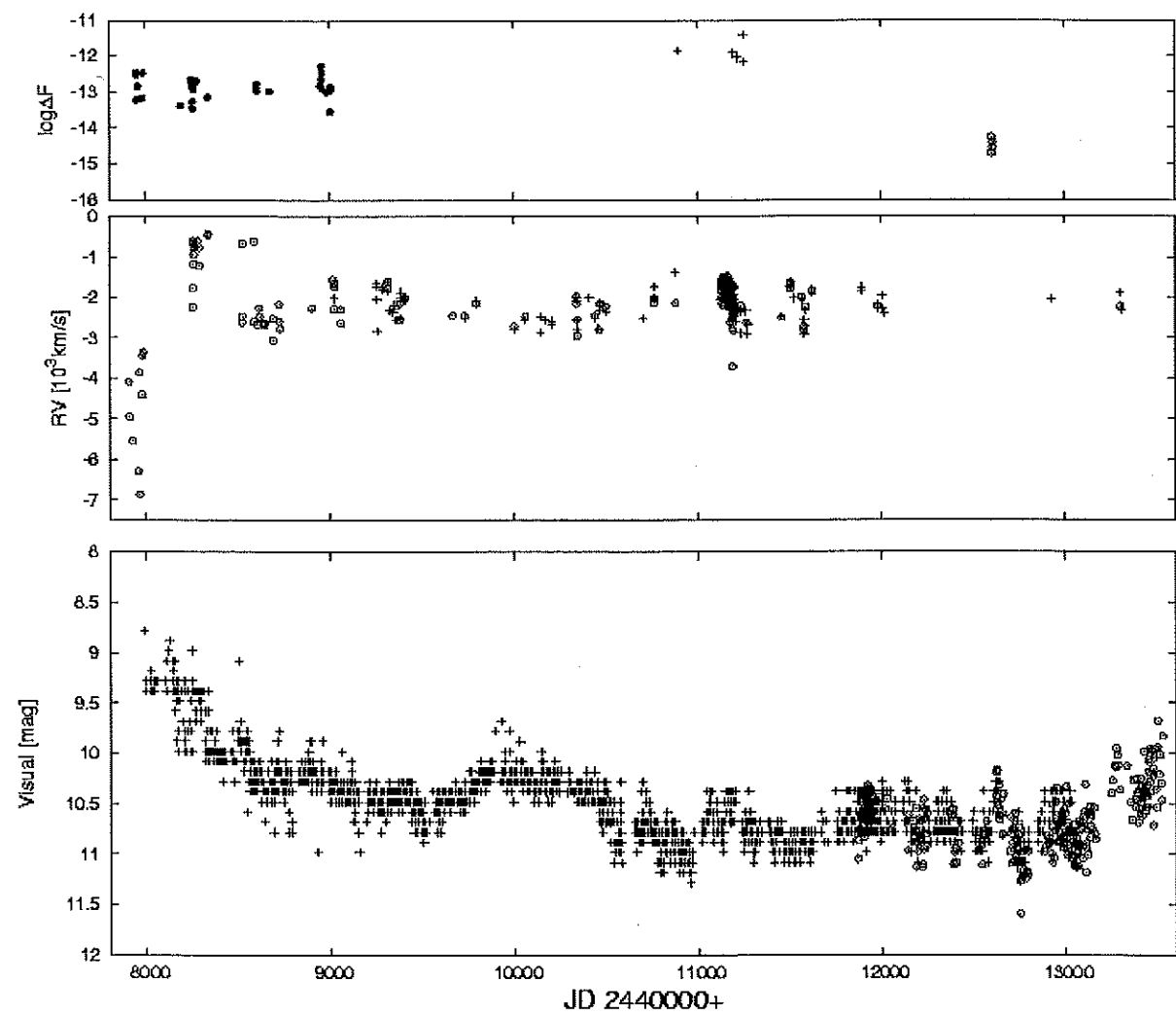
4.3 Długookresowe zmiany blasku, maksymalnej prędkości i amplitudy flikeringu

W tej części pracy porównam trzy rodzaje zmienności a mianowicie zmiany jasności wizualnej, amplitudy flikeringu oraz maksymalnej prędkości radialnej. Na rysunku 4.2 przedstawione są wszystkie te trzy krzywe w okresie 1990-2005. W przypadku zmian amplitudy flikeringu nie ma zbyt wielu danych stąd tak duże luki czasowe w obserwacjach. Jednakże gwiazda *MWC 560* wykazuje przez cały czas zmiany flikeringu. Jak można zauważyć na krzywej pokazującej zmiany maksymalnej prędkości radialnych (środkowy panel) widać dość wyraźnie dwa rodzaje wpływów w *MWC 560* a mianowicie dyskretnych i quasi-stacjonarnych. Na początku 1990 roku obserwujemy duży rozrzut prędkości dżetu sięgający aż do 7000 km/s . Następnie nagłe obniżenie prędkości do około kilkuset km/s . Po obniżeniu prędkości następuje gwałtowny wzrost prędkości do około

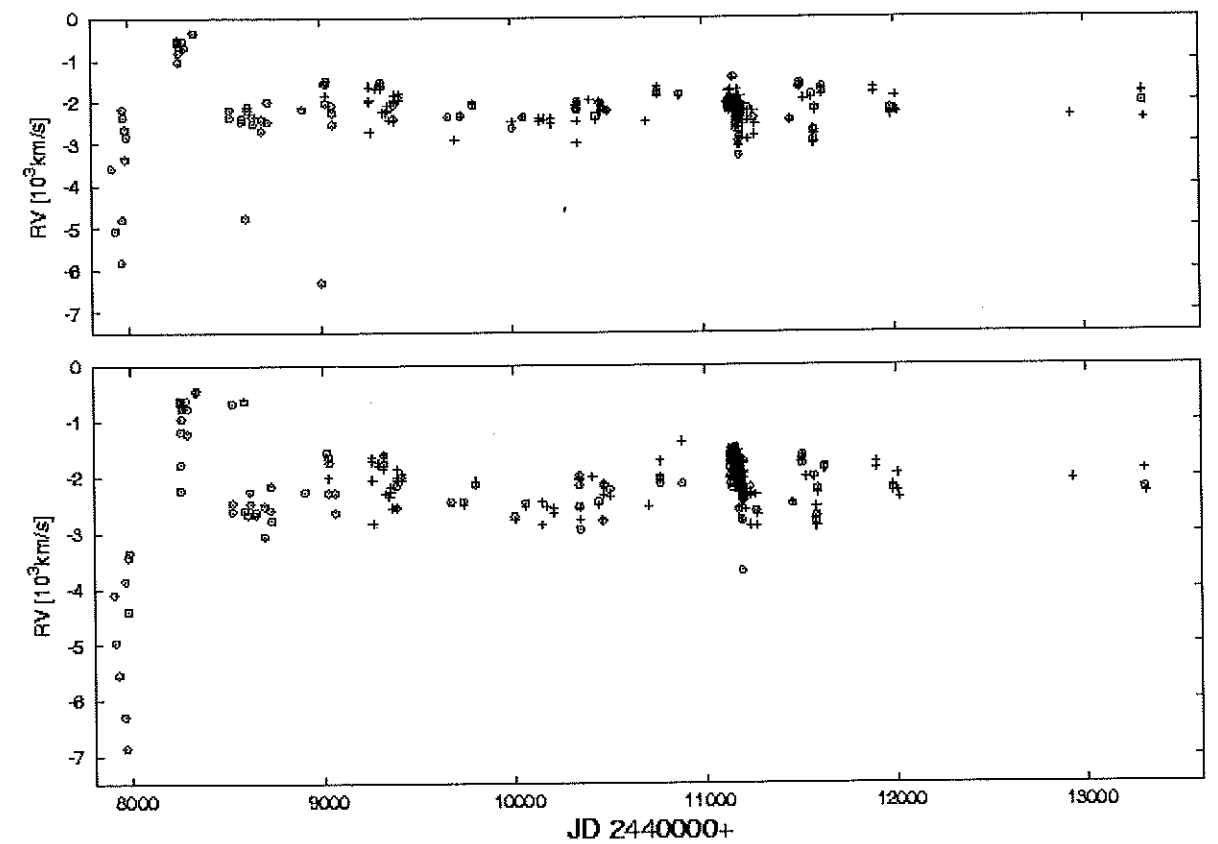
2000 km/s . Taki ustabilizowany poziom utrzymuje się do chwili obecnej.

Amplituda flikeringu z kolei nie zmienia się znacznie na początku lat 90-tych tuż po wybuchu. Wykreślony jednak $\log \Delta F$ pozostaje w dość wąskim przedziale. Wygląda na to, że podczas quasi-stacjonarnych wpływów flikering i wpływy materii nie są powiązane fizycznie ze sobą (Tomov et al. 1995). Na przedstawionym przeze mnie rysunku 4.2 (górny panel) również można zauważyć brak wyraźnych korelacji ze zmianami wpływu dżetów. Równie silne amplitudy jak te podczas wybuchy można spotkać w mniej aktywnych etapach. Flikering może być tłumaczony niestabilnością akrecji materii w pobliżu warstwy granicznej pomiędzy dyskiem a obiektem (Schmid et al. 2001). Jednakże na rysunku nieuwzględnione są okresy, w których zakłada się ponowne przejście przez periastron sugerujące okres orbitalny około 5 lat. Spowodowane jest to brakiem danych w tych okresach.

Opisane wcześniej pomiary maksymalnych prędkości radialnych dżetów nie były jednak bezbłędnie wykonane przy pierwszej próbie pomiaru. Dla poprzednich prób pomiaru maksymalnej prędkości radialnej miejsce pomiaru było bardziej zróżnicowane. Niekiedy było mierzone tak jak opisywałem wcześniej lecz była też część widm, gdzie pomiar maksymalnej prędkości radialnej wykonany został mniej więcej w połowie wysokości kontinuum. Porównanie tych dwóch prób pomiarów przedstawiłem na rysunku 4.3. Na górnym panelu znajdują się prędkości radialne pomierzone w pierwszej próbie natomiast na dolnym panelu przedstawione są pomiary maksymalnej prędkości radialnej dżetu wykonywane metodą jaką opisałem w rozdziale 2.4. Można zauważyć, że podczas pierwszej próby pomiaru prędkości radialne dżetu na początku 1990 roku były trochę zaniżone. Również znajduje się parę punktów pomiarowych, które były całkowicie błędnie pomierzone. Jednakże warto zauważyć, że pierwsze pomiary posiadają mniejszy rozrzut w prędkościach radialnych.



Rysunek 4.2: Porównanie krzywej blasku (dolny panel: krzyże-Jones, koła-ASAS) ze zmianami prędkości radialnych (środkowy panel: koła- $H\beta$, krzyże- $H\alpha$) i zmianami amplitudy flikeringu (górny panel: pełne koła-Rozhen, krzyże-Piwnice, puste koła-Grecja).



Rysunek 4.3: Porównanie dwóch prób pomiaru maksymalnej prędkości radialnej. Na górnym panelu pierwsza próba pomiaru natomiast na dolnym ostateczna próba pomiaru (koła-pomiar w linii $H\alpha$, krzyże-pomiar w linii $H\beta$).

Tabela 4.3: Wyniki obliczeniowe amplitudy flikeringu z Rozhen dla *MWC* 560.

JD 2400000+	Data	U_{av}	σ_0	σ_1	σ_{flic}	ΔF
47947.3342	90/02/24	9.395	0.037	0.034	0.015	5.87×10^{-14}
47948.25	90/02/25	9.613	0.108	0.019	0.106	3.55×10^{-13}
47949.25	90/02/26	9.645	0.096	0.027	0.092	9.75×10^{-13}
47956.25	90/03/05	9.499	0.048	0.026	0.040	1.48×10^{-13}
47957.5	90/03/06	9.441	0.043	0.021	0.038	1.45×10^{-13}
47957.25	90/03/06	9.413	0.039	0.014	0.036	1.44×10^{-13}
47965.25	90/03/14	9.59	0.026	0.018	0.019	6.31×10^{-14}
47983.3157	90/04/01	9.151	0.032	0.029	0.014	6.81×10^{-14}
47984.25	90/04/02	9.084	0.064	0.014	0.062	3.36×10^{-13}
48191.5	90/10/26	9.96	0.019	0.009	0.017	4.00×10^{-14}
48247.4811	90/12/21	10.149	0.102	0.021	0.100	2.03×10^{-13}
48250.5	90/12/24	9.94	0.093	0.018	0.091	2.24×10^{-13}
48255.4047	90/12/29	9.883	0.024	0.012	0.021	5.34×10^{-14}
48256.5	90/12/30	9.962	0.068	0.035	0.058	1.40×10^{-13}
48256.4097	90/12/30	9.915	0.019	0.013	0.014	3.45×10^{-14}
48261.3543	91/01/04	9.782	0.045	0.017	0.042	1.18×10^{-13}
48278.25	91/01/21	9.71	0.068	0.013	0.067	2.02×10^{-13}
48339.2657	91/03/23	9.875	0.031	0.014	0.028	7.16×10^{-14}
48604.4779	91/12/13	10.305	0.086	0.037	0.078	1.36×10^{-13}
48606.5	91/12/15	10.533	0.084	0.039	0.0743	1.06×10^{-13}
48607.4845	91/12/16	10.225	0.106	0.054	0.091	1.73×10^{-13}
48676.25	92/02/23	10.579	0.088	0.042	0.077	1.05×10^{-13}
48951.5	92/11/24	10.307	0.1	0.051	0.086	1.51×10^{-13}
48958.5	92/12/01	10.2	0.12	0.031	0.116	2.26×10^{-13}
48959.4475	92/12/02	9.938	0.212	0.032	0.210	5.40×10^{-13}
48960.5	92/12/03	10.348	0.084	0.032	0.078	1.31×10^{-13}
48962.5	92/12/05	10.085	0.17	0.054	0.161	3.55×10^{-13}
48986.25	92/12/29	10.714	0.095	0.048	0.082	9.87×10^{-14}
49006.3963	93/01/18	10.672	0.055	0.05	0.023	2.84×10^{-14}
49007.3277	93/01/19	10.822	0.109	0.045	0.100	1.09×10^{-13}
49009.3353	93/01/21	10.857	0.122	0.048	0.1121	1.19×10^{-13}
49011.2792	93/01/23	10.887	0.136	0.036	0.1311	1.36×10^{-13}

Rozdział 5

Zakończenie

Celem mojej pracy było prześledzenie długookresowych ewolucji zmian profili absorpcyjnych linii balmerowskich $H\alpha$, $H\beta$ i dubletu sodu NaI . W rezultacie przygotowałem atlas widmowy dla podanych linii, który pokazuje jak zmieniają się formy profili absorpcyjnych a także ich prędkości radialne. Kolejnym wynikiem było prześledzenie zmian maksymalnej prędkości dżetu i porównanie ich z amplitudą flikeringu oraz z wizualną krzywą blasku. Amplituda flikeringu nie wykazuje wyraźnej korelacji ze zmianami maksymalnej prędkości radialnej. Szczególnie nie jest to widoczne podczas dyskretnych wpływów dżetu. Amplituda posiada lekką tendencję spadkową mniej więcej aż do ustabilizowania się prędkości dżetu na poziomie 2000 km/s . Również maksymalna prędkość dżetu nie ma powiązania z wizualną jasnością gwiazdy. Wykres ten potwierdza jednak dwa sposoby wpływu dżetów: dyskretny i quasi-stacjonarne (Tomov et al. 1997). Z dyskretnymi wpływami mamy do czynienia w pierwszych dwóch sezonach obserwacyjnych (1990-1991) kiedy to prędkości radialne są dość nieregularne (między 3000 a 7000 km s^{-1}) oraz w momencie obniżenia się prędkości do około kilkuset km s^{-1} . Natomiast quasi-stacjonarne wpływy wiążane są z wszystkimi kolejnymi prędkościami po 1991 roku.

Monitoring wykonany przez Schmid'a et al. pozwolił na wyobrażenie sobie dokładniej budowy układu *MWC* 560. Stworzony przez nich model układu wyróżnia trzy obszary w dzie: obszar pojawiania się dżetu, obszar przyspieszania materii do większych prędkości oraz trzeci, w którym ta materia zostaje spowalniana. Powiązali również miejsca występowania szoków z wąskimi liniami zjonizowanego wapnia $CaII$, które powstają na skutek pulsacyjnego wpływu dżetu (Schmid et al. 2001). Założenie istnienia dysku było konieczne ze względu, że związany jest on z występowaniem dżetów w innych obiektach astrofizycznych. Jako takiego dysku nie widzimy, gdyż jest on ukryty za szerokim dżetem. W dysku wyróżnili także obszary odpowiadające za powstawanie gorącego kontinuum i wąskich linii emisyjnych.

Wskaźniki barwy $B - V$ z kolei pokazują, że temperatura gwiazdy *MWC* 560 malała

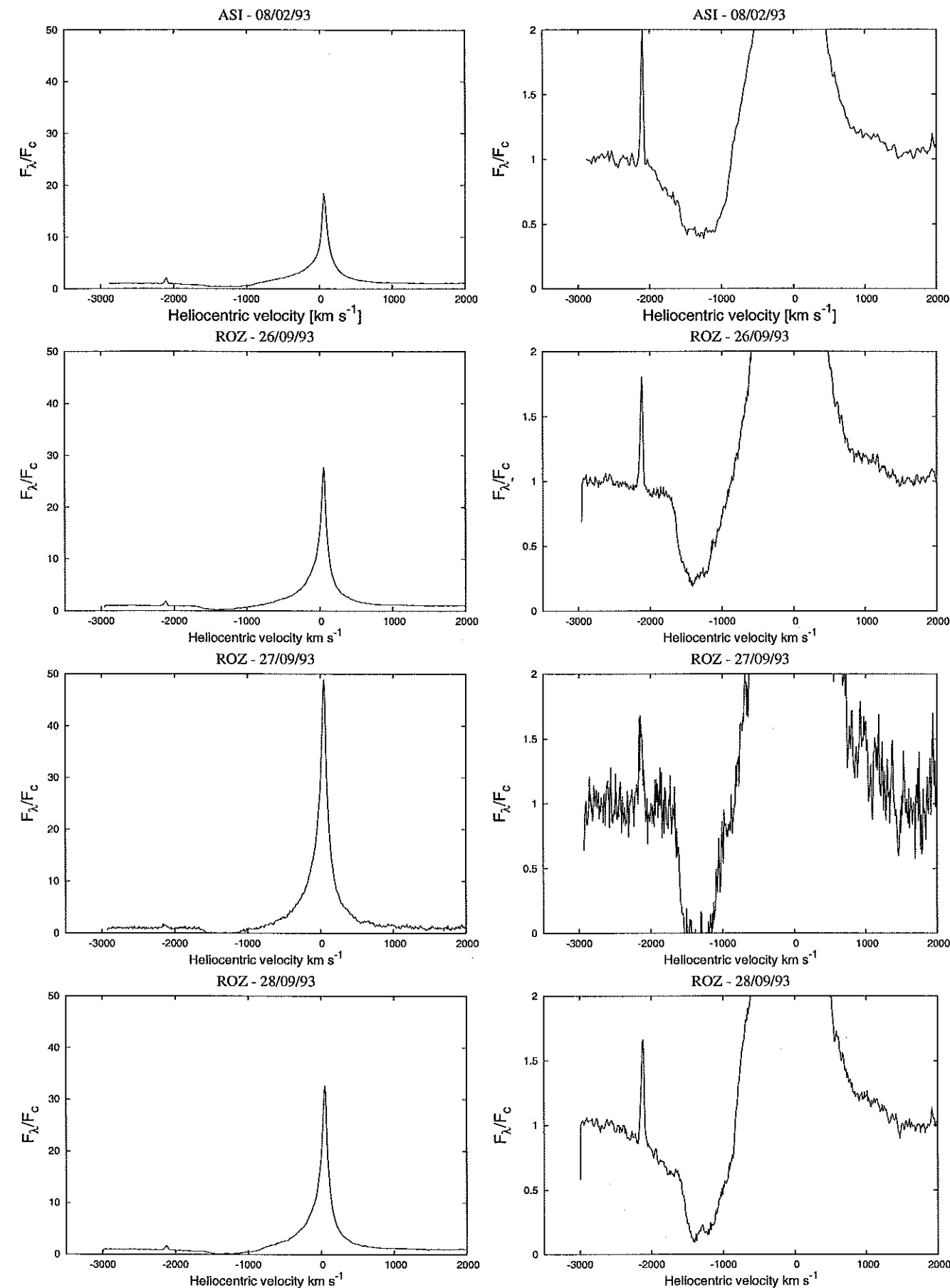
cały czas po wybuchu aż osiągnęła pewien poziom, na którym pozostała mniej więcej stabilna. Jednak nie ma nowszych danych bo powiedzieć jak zmienił się wskaźnik barwy $B - V$ w ostatnich paru latach.

Aby osiągnąć cel tej pracy musiałem wykonać obróbkę dużej ilości widm pochodzących z Rozhen. Wiele widm użytych przeze mnie wymagało poprawienia nagłówków a następnie wyliczenie pakietem IRAF'a poprawki heliocentrycznej. Pozwoliło mi to zamianę widm w heliocentryczne długości fali. Następny krok wymagał na tak przygotowanych widmach zmierzenia maksymalnej prędkości dżetu i stabelaryzowanie ich (Dodatek B). Doprowadziło to usystematyzowania danych obserwacyjnych dla gwiazdy *MWC 560* z ostatnich 15 lat.

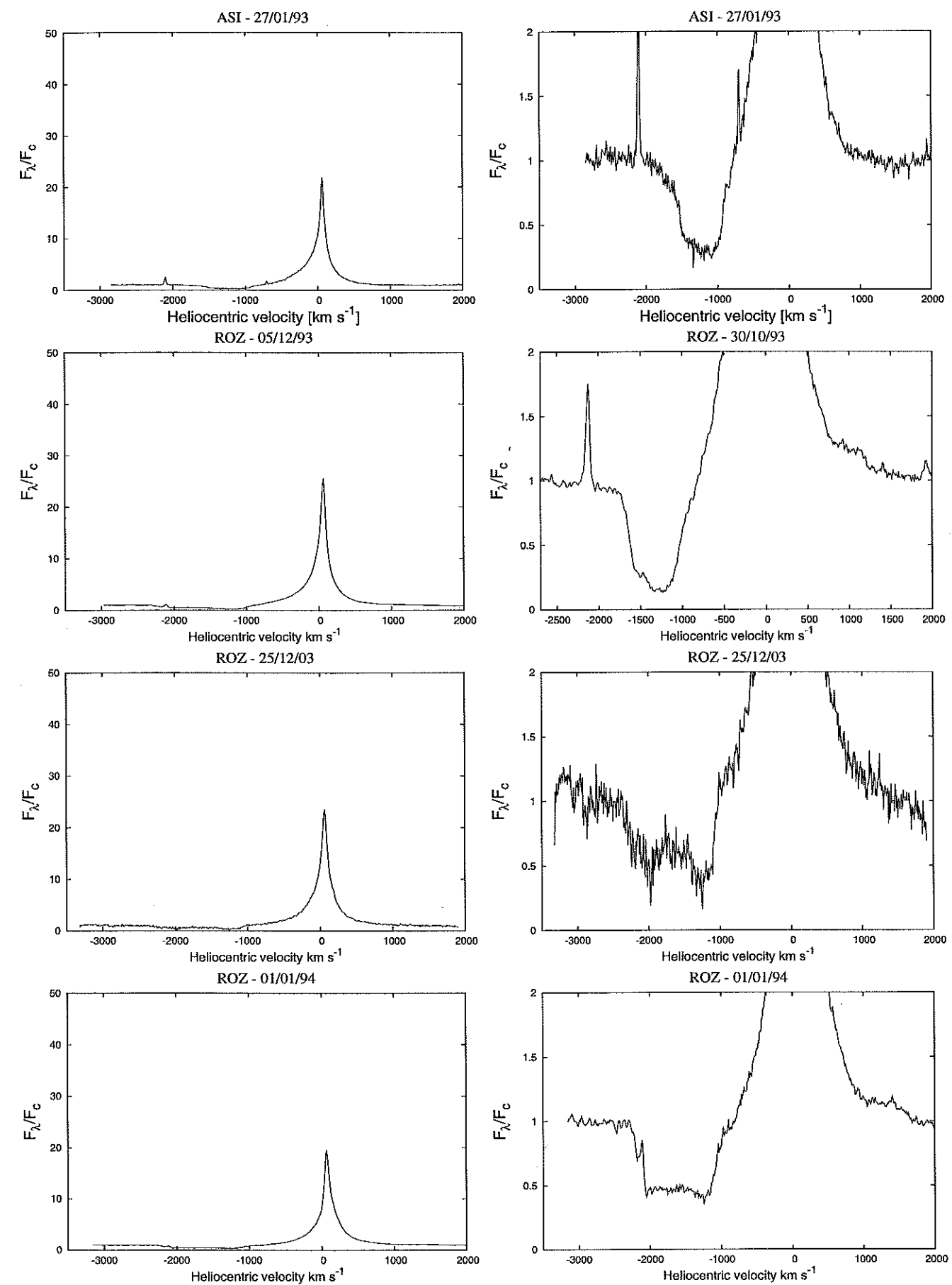
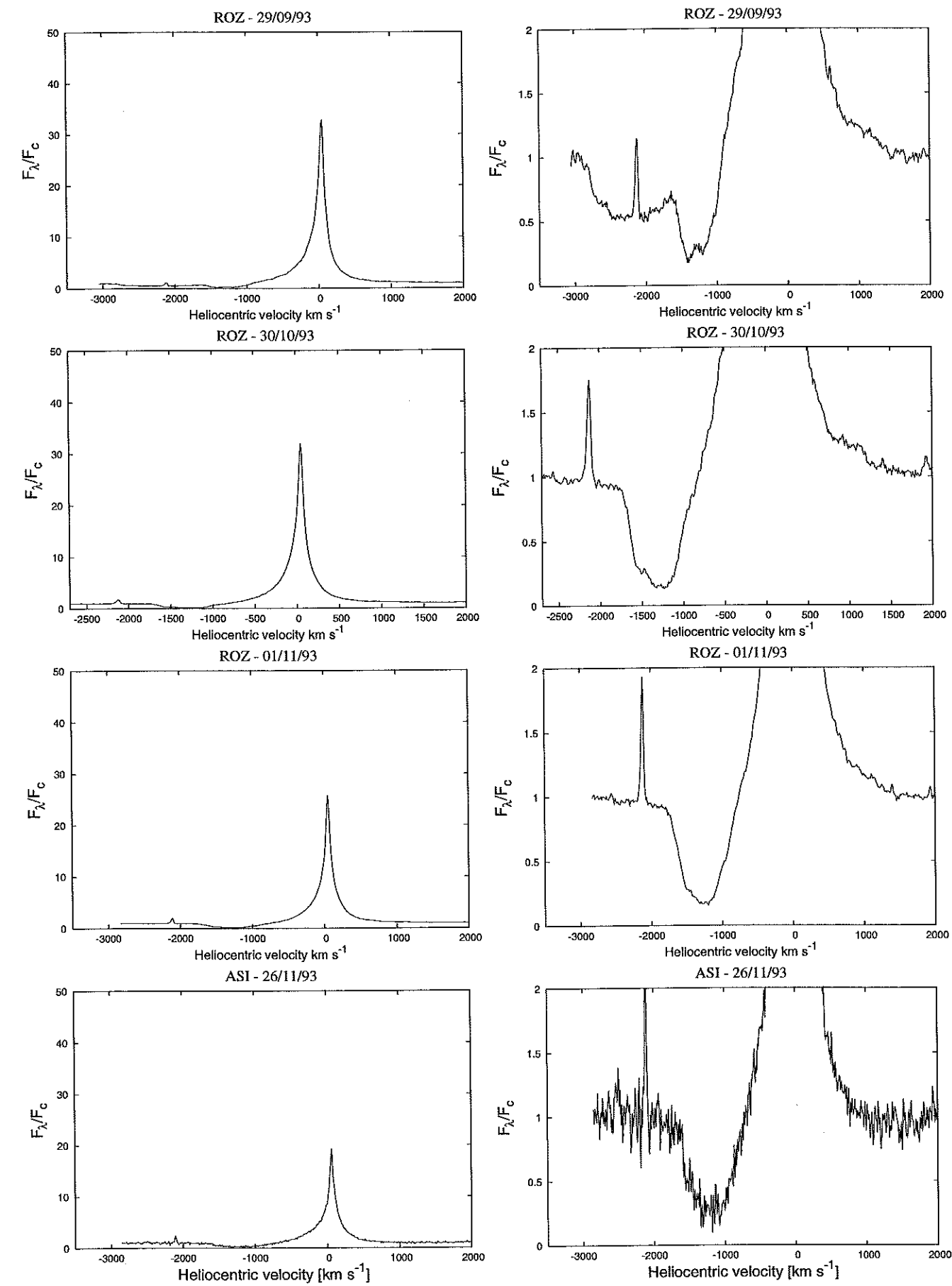
Podziękowania

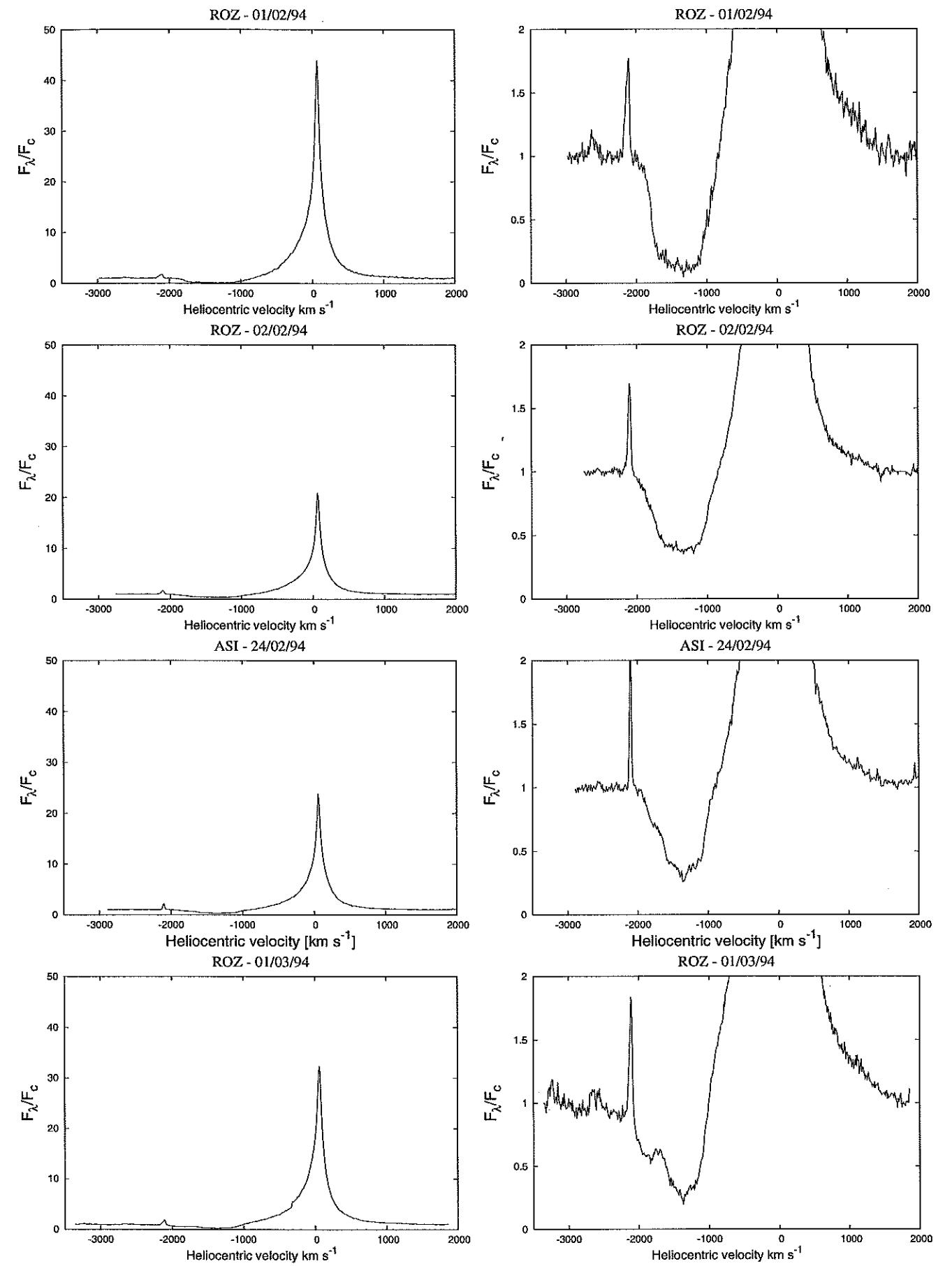
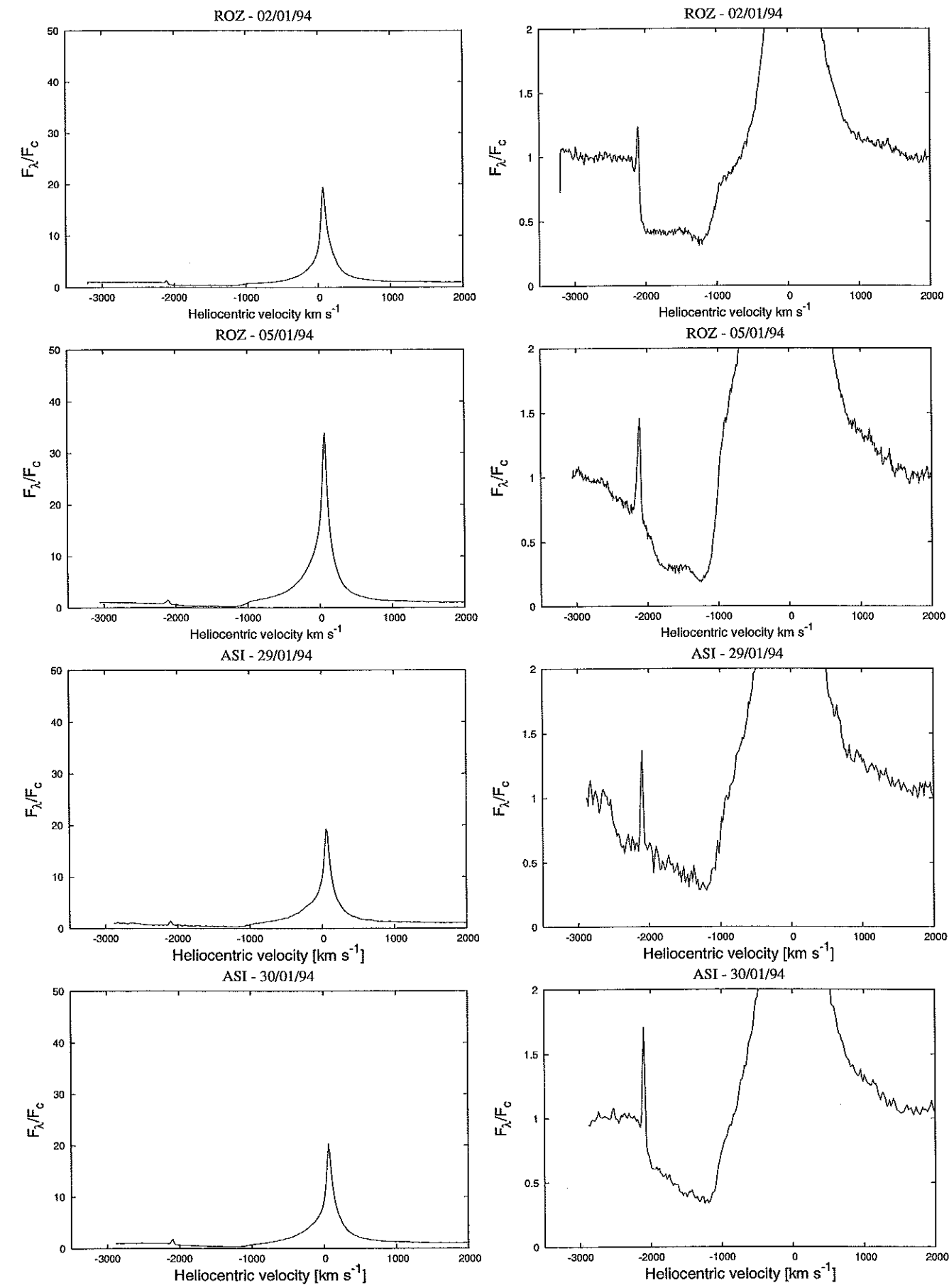
Chciałbym na wstępie podziękować opiekunowi mojej pracy za pomoc oraz cenne uwagi i sugestie udzielone mi podczas tworzenia niniejszej pracy magisterskiej bez, których by nie powstała. Dziękuję również recenzentowi tej pracy Maciejowi Mikołajewskiemu za krytyczne podejście w ocenie jej. Podziękowania składam Jakubowi Janowskiego, Cezaremu Gałanowi oraz Mariuszowi Gromadzkiemu za udostępnienie mi swoich obserwacji oraz wyników, które posłużyły mi do pokazania długookresowej zmienności amplitudy flikeringu oraz wskaźników barwy.

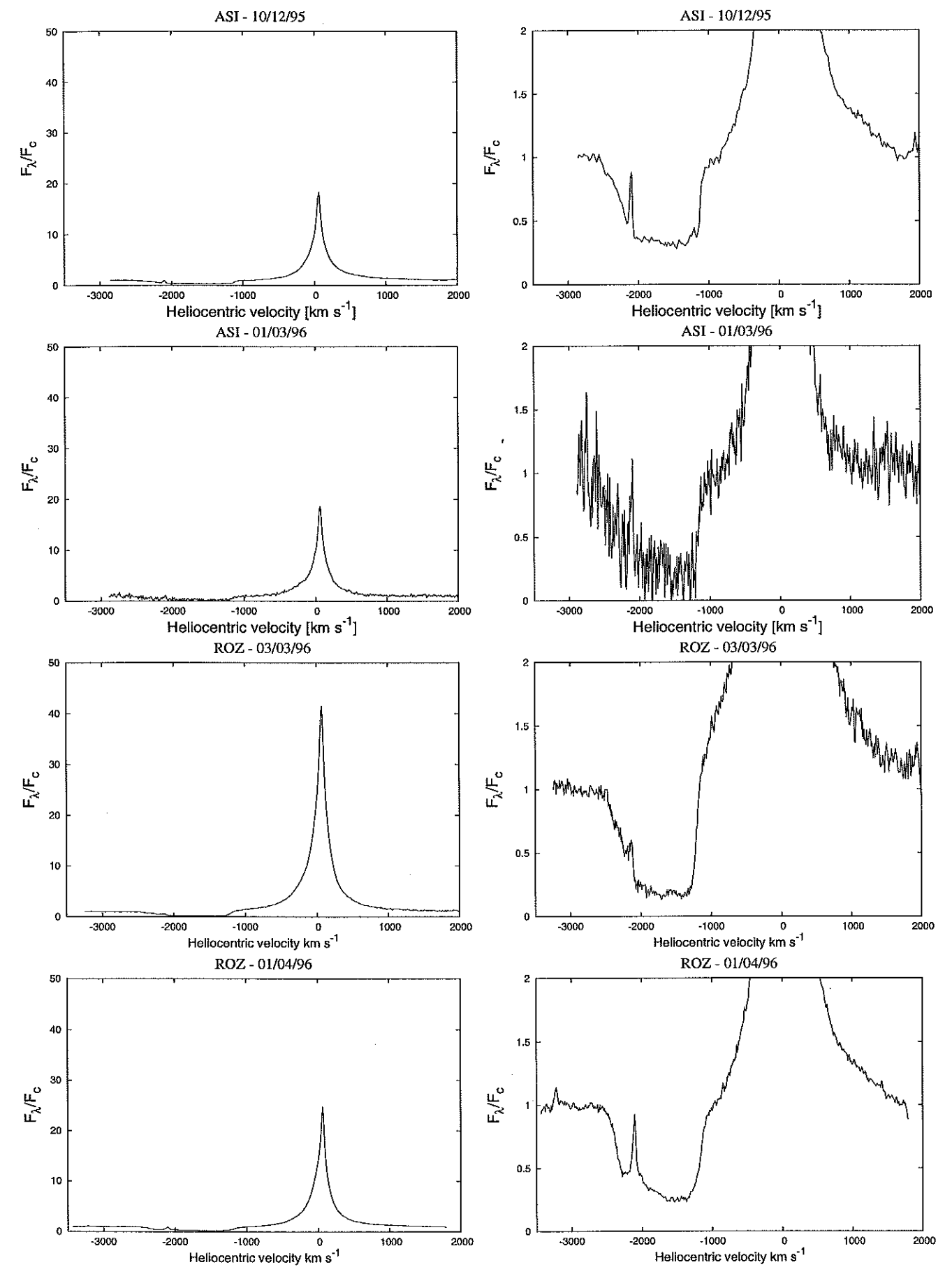
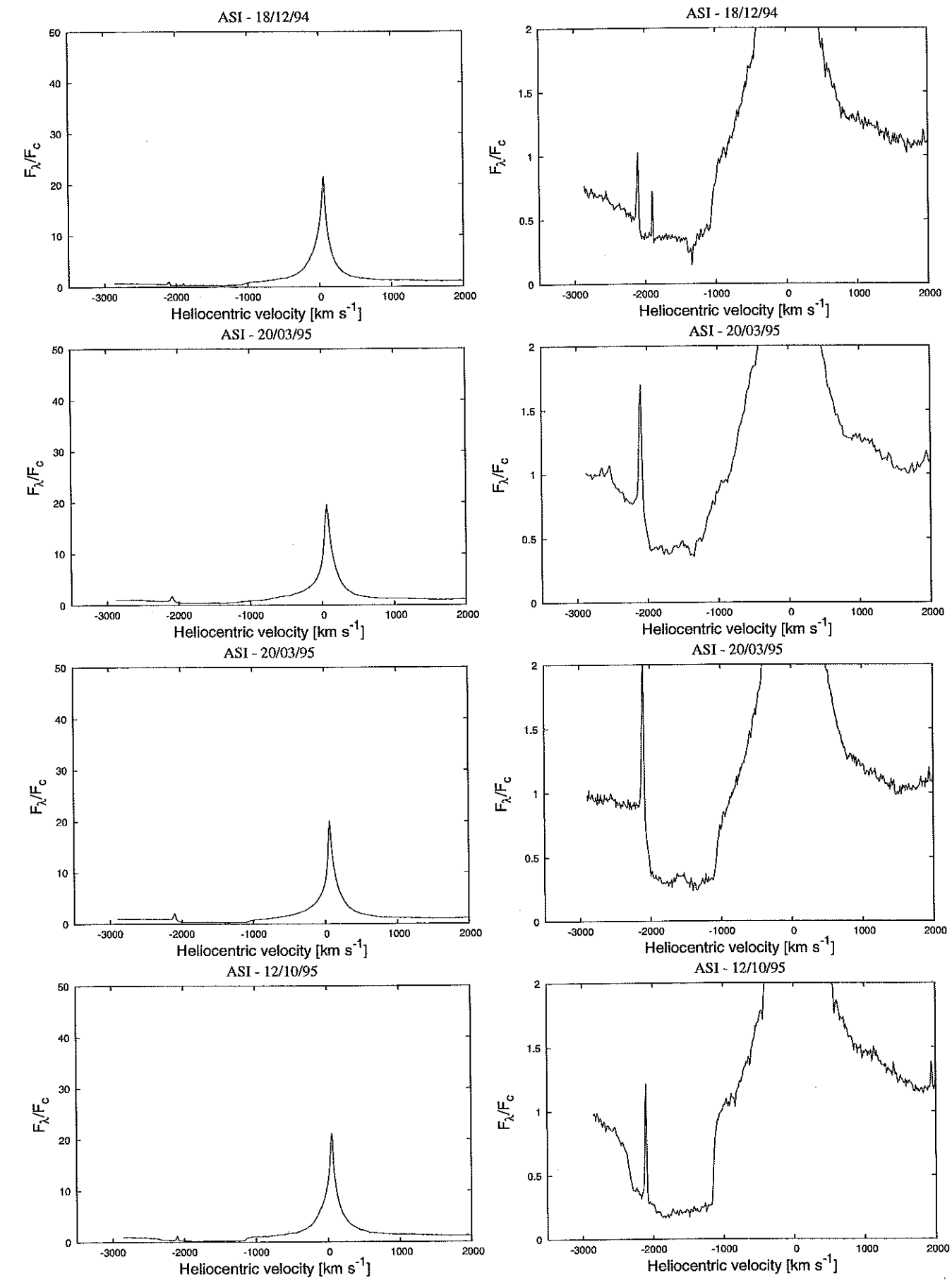
Dziękuję również swoim rodzicom za ciągłe wsparcie, które mogłem od nich zawsze uzyskać.

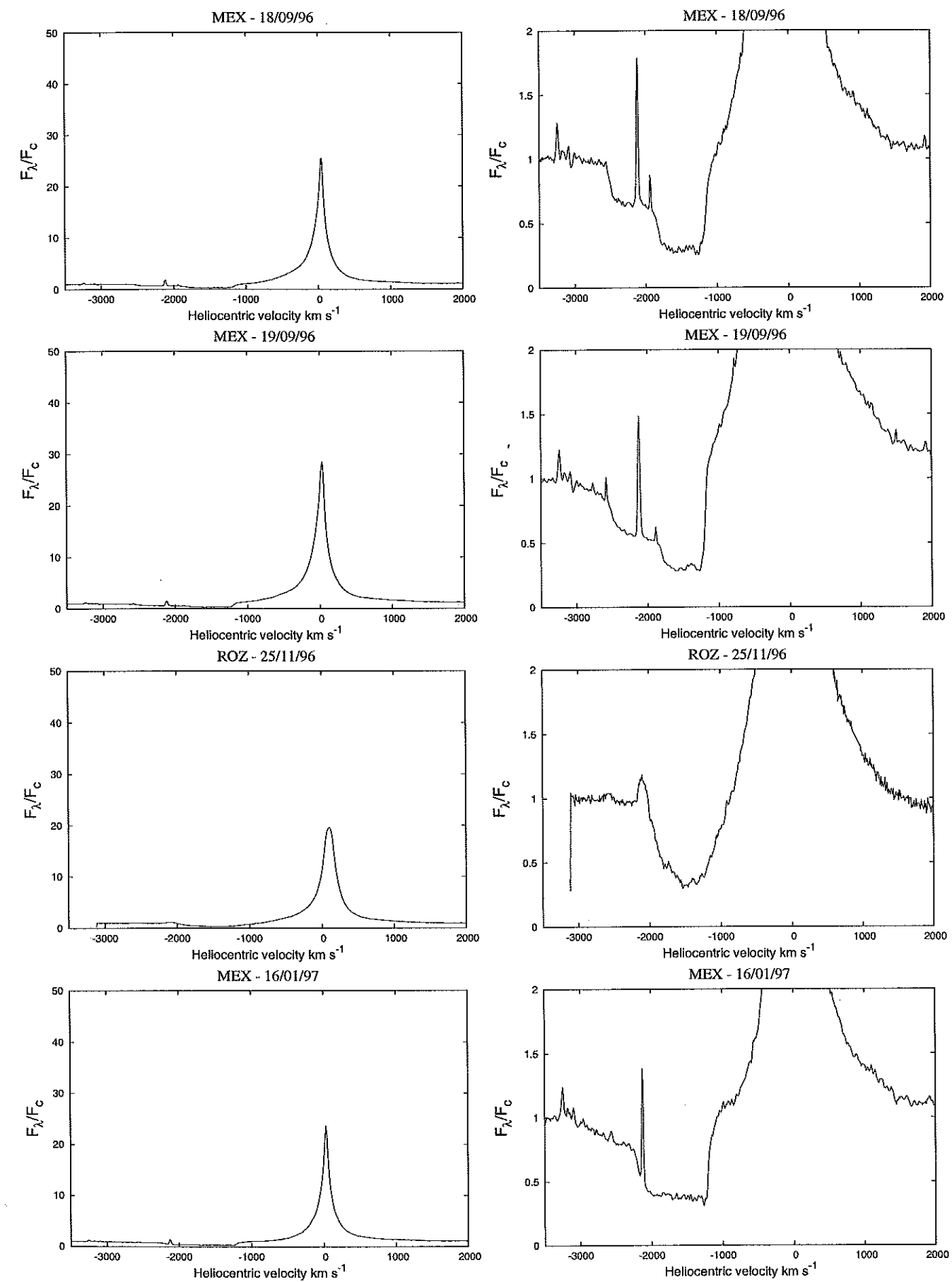
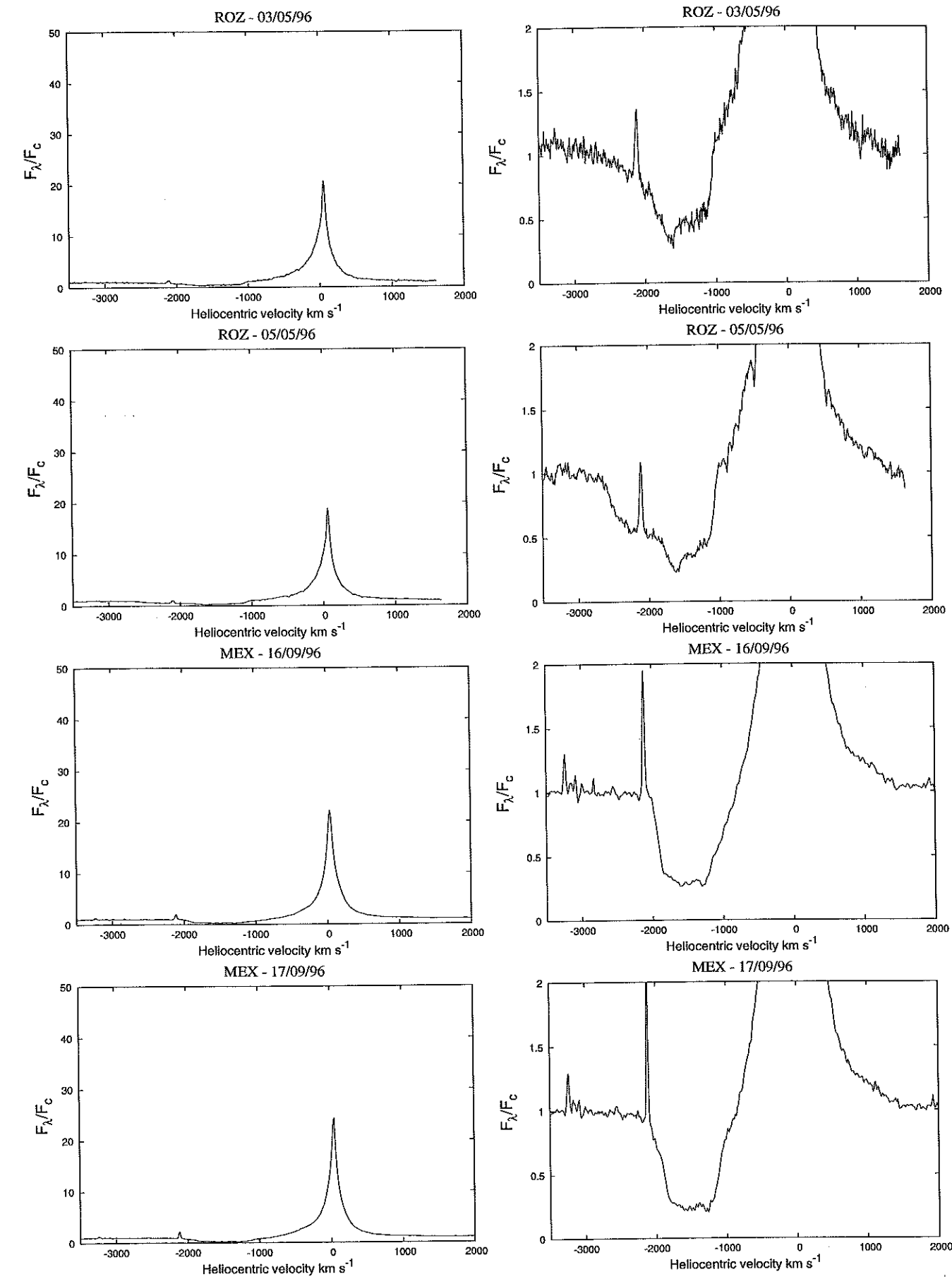


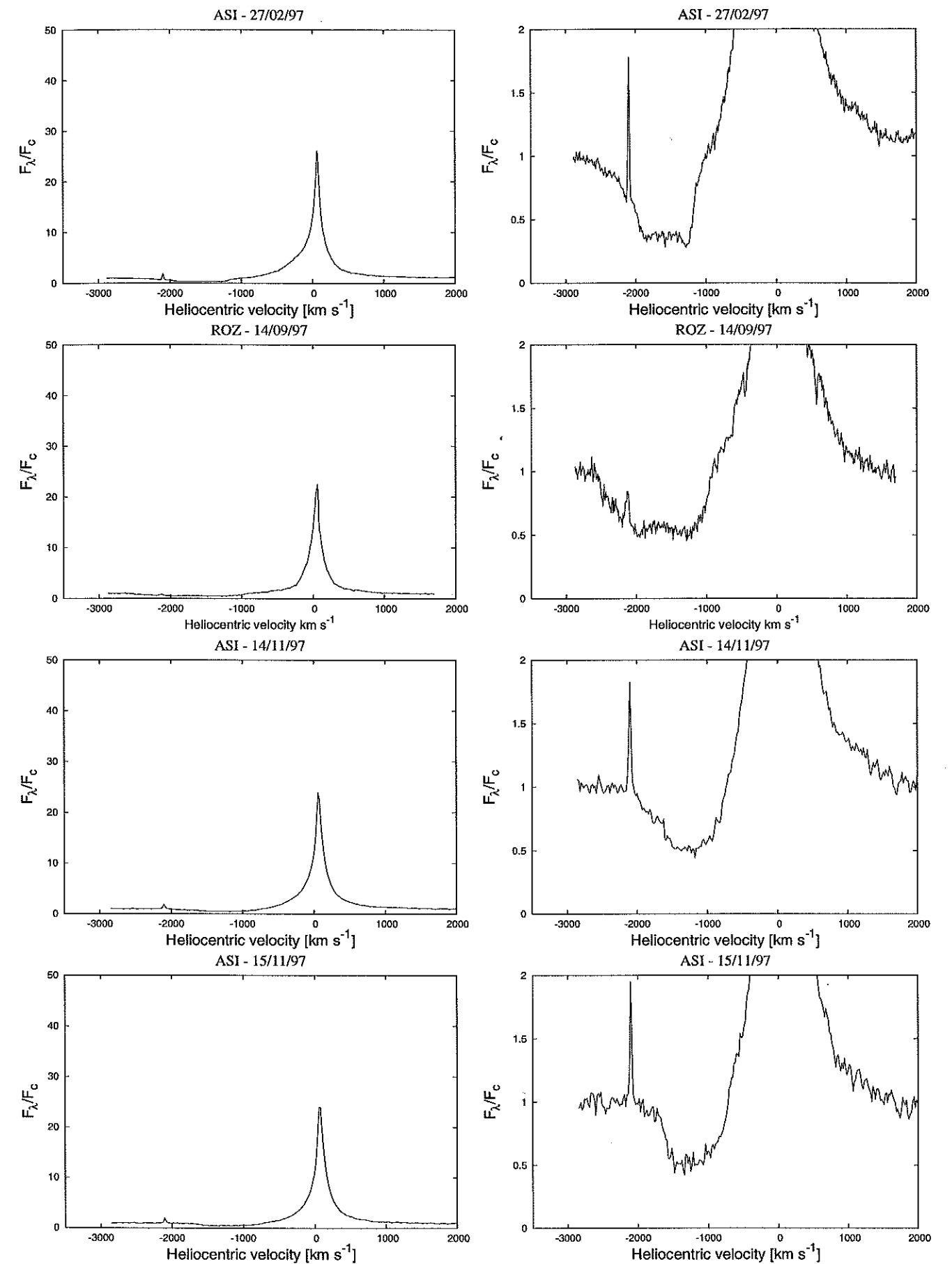
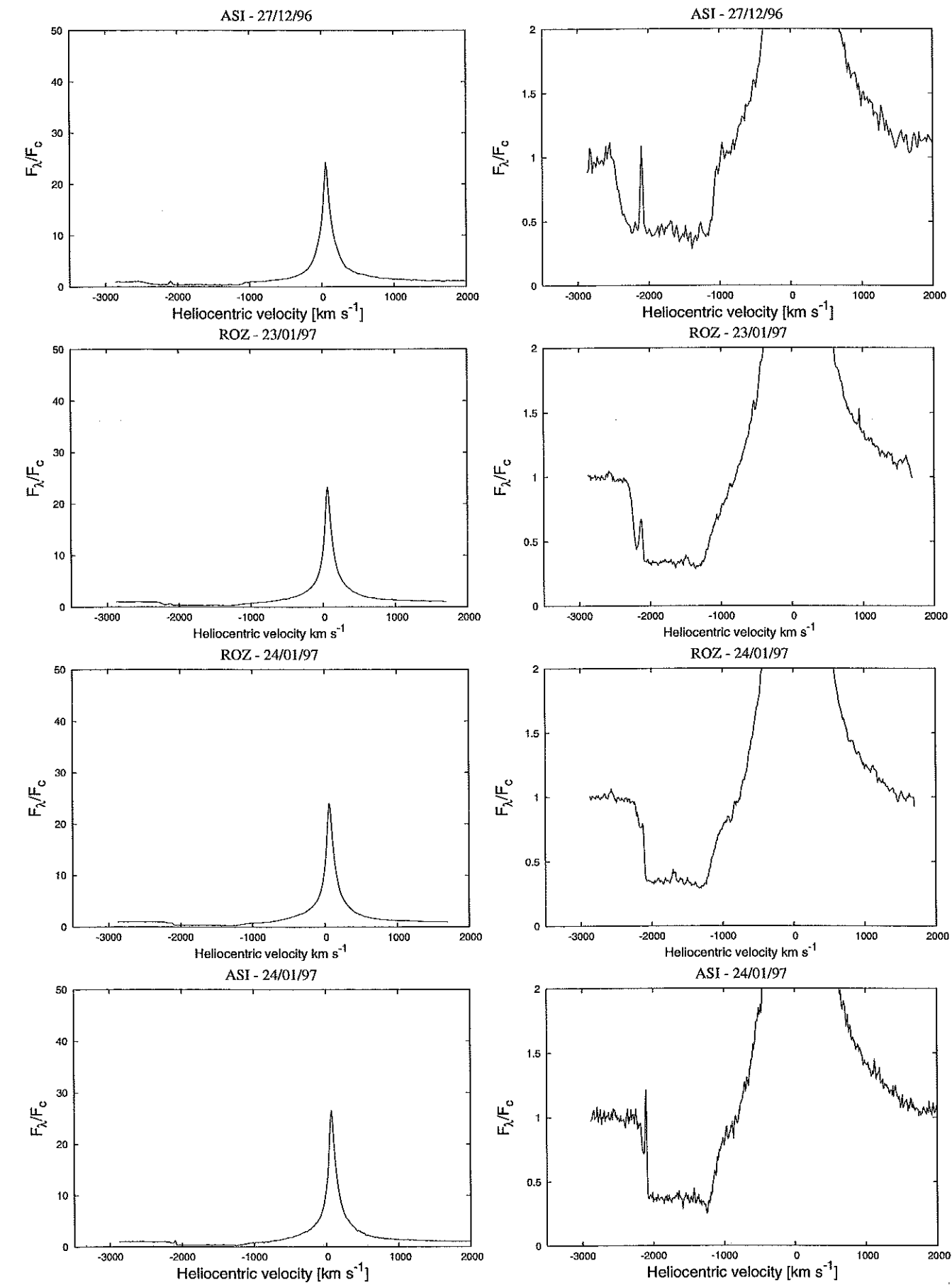
Rysunek 5.1: Atlas widmowy linii $H\alpha$.

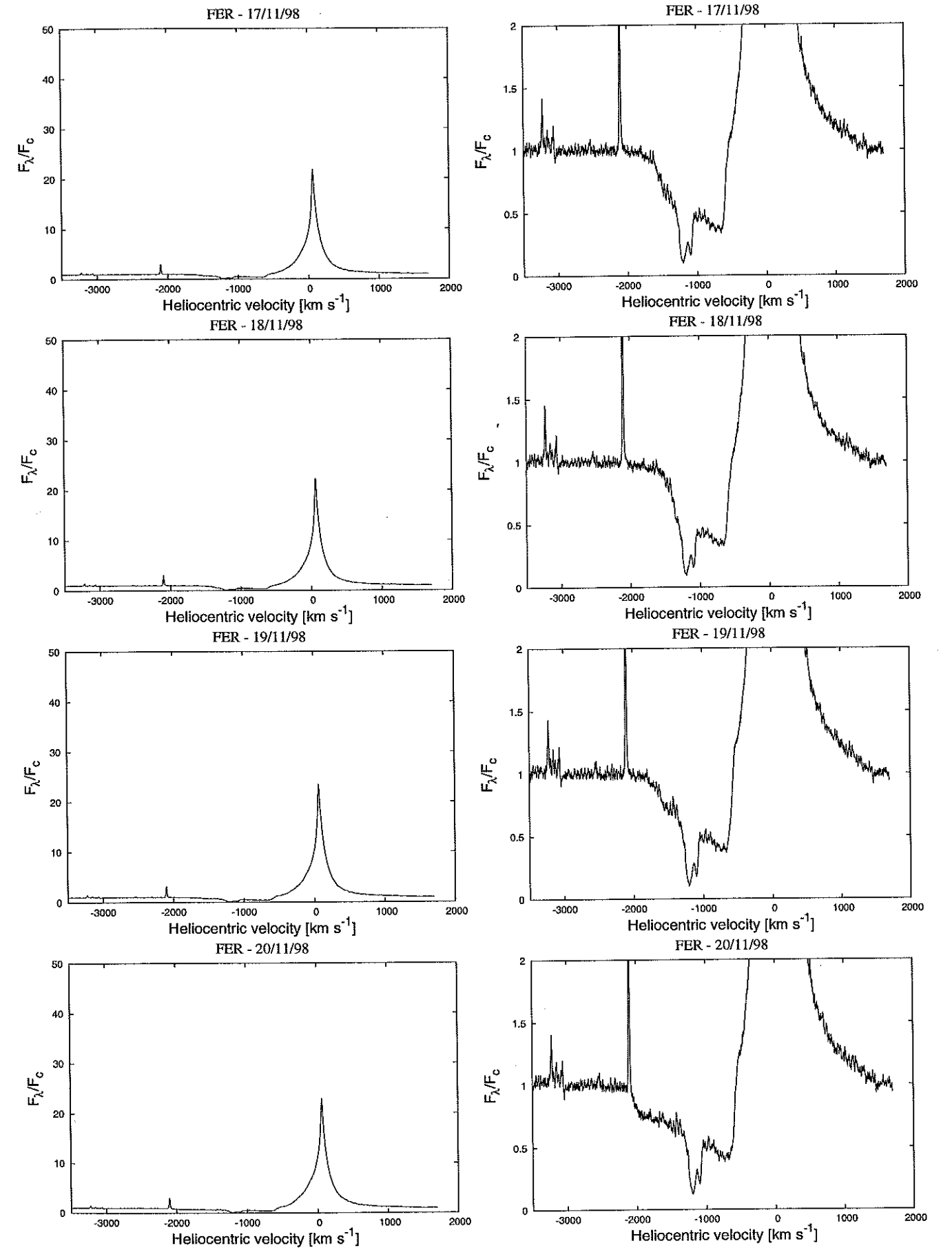
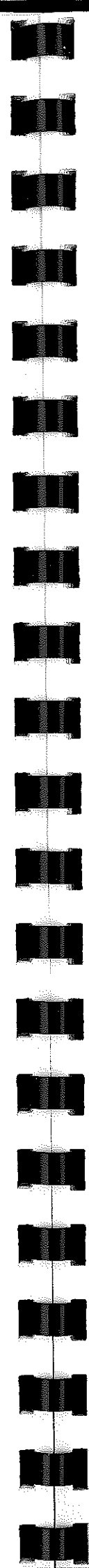
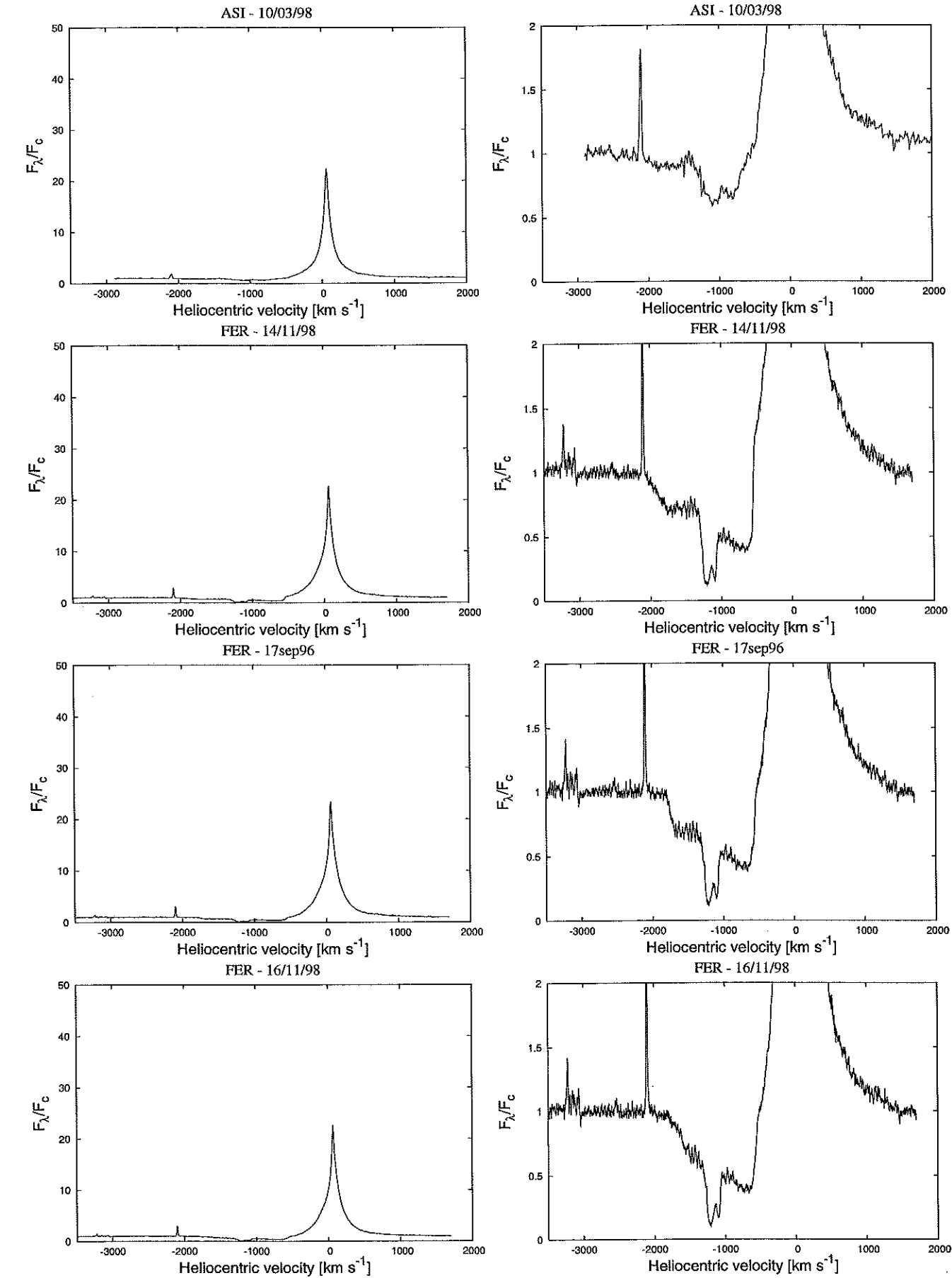


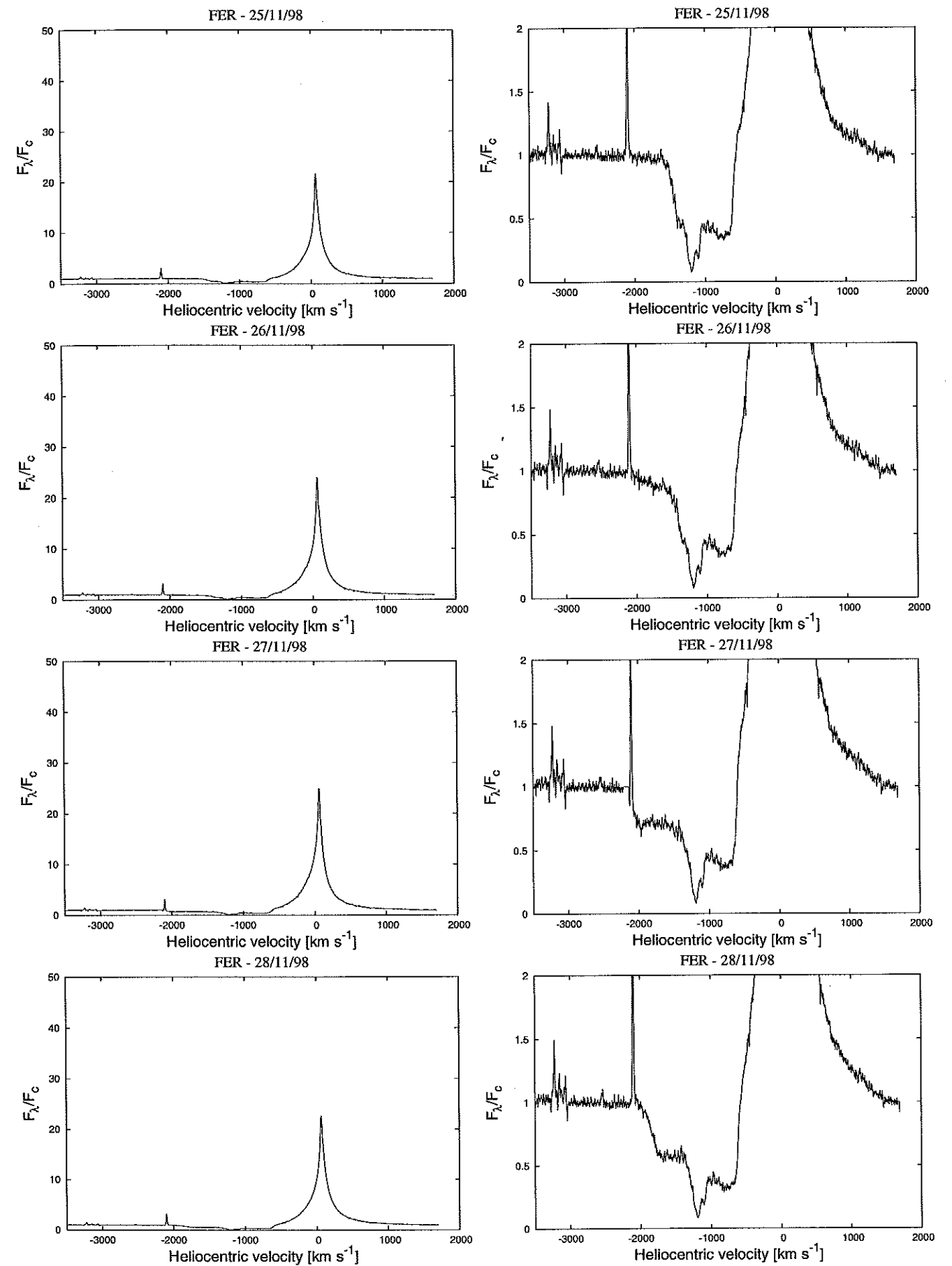
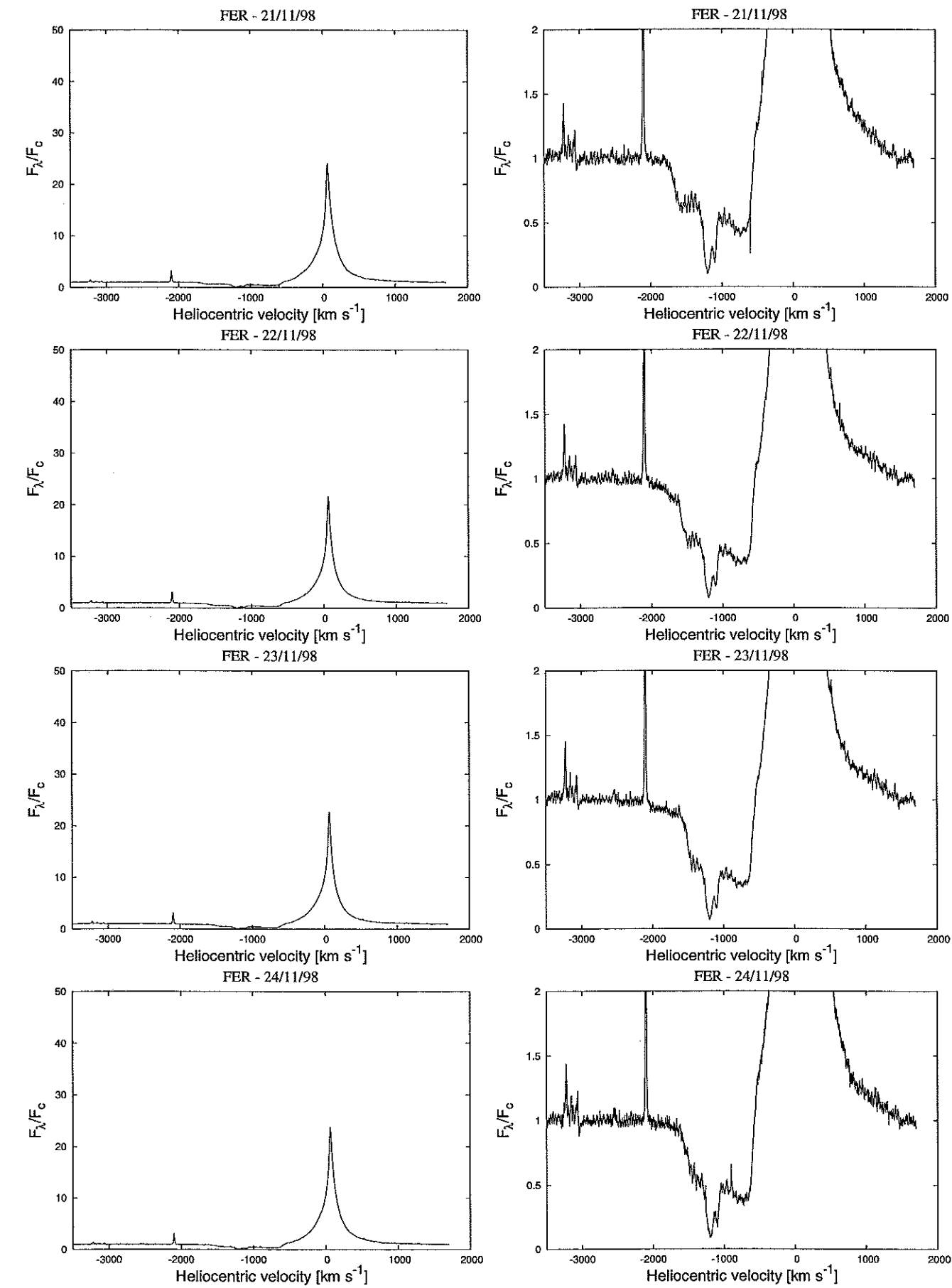


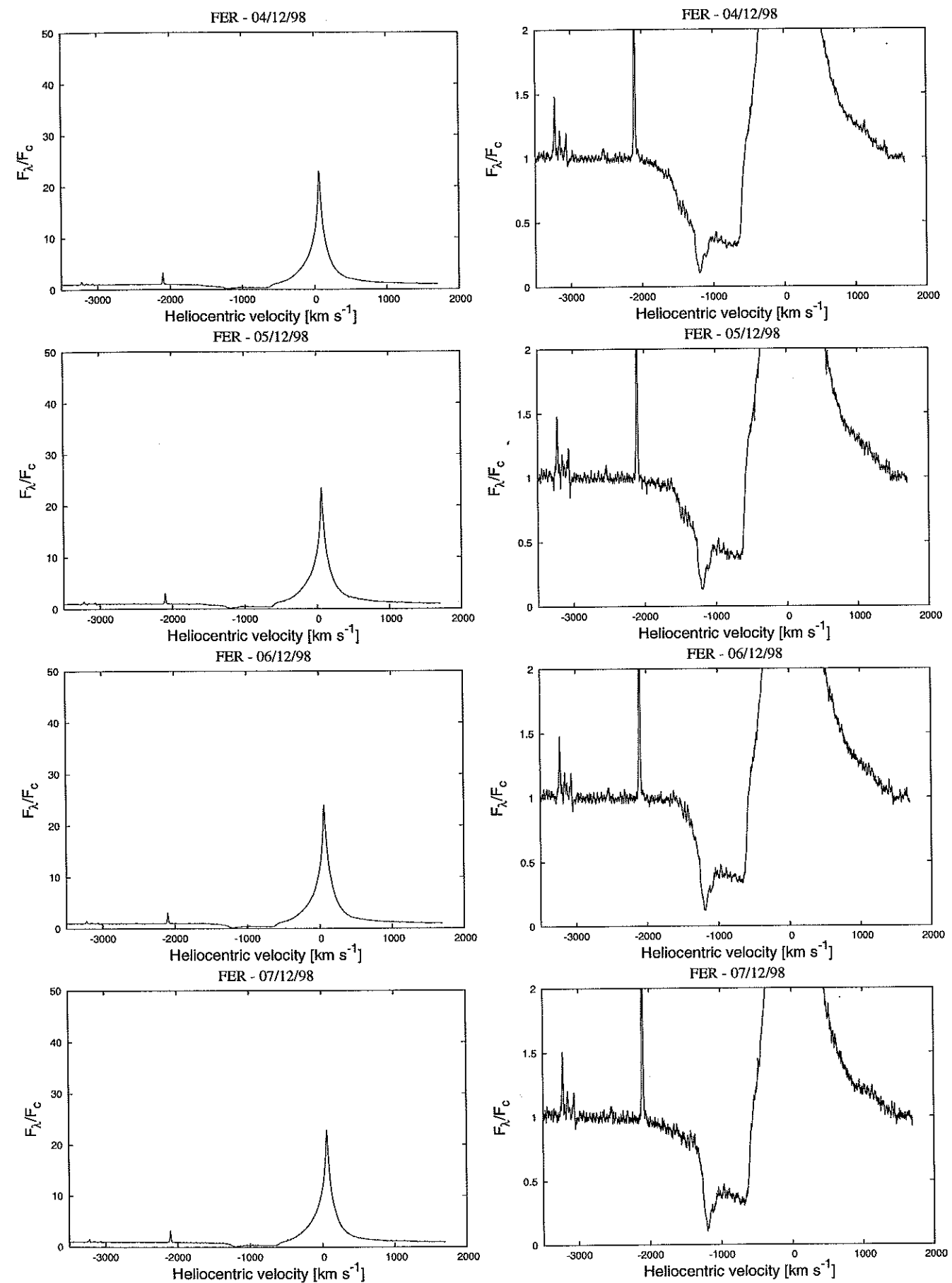
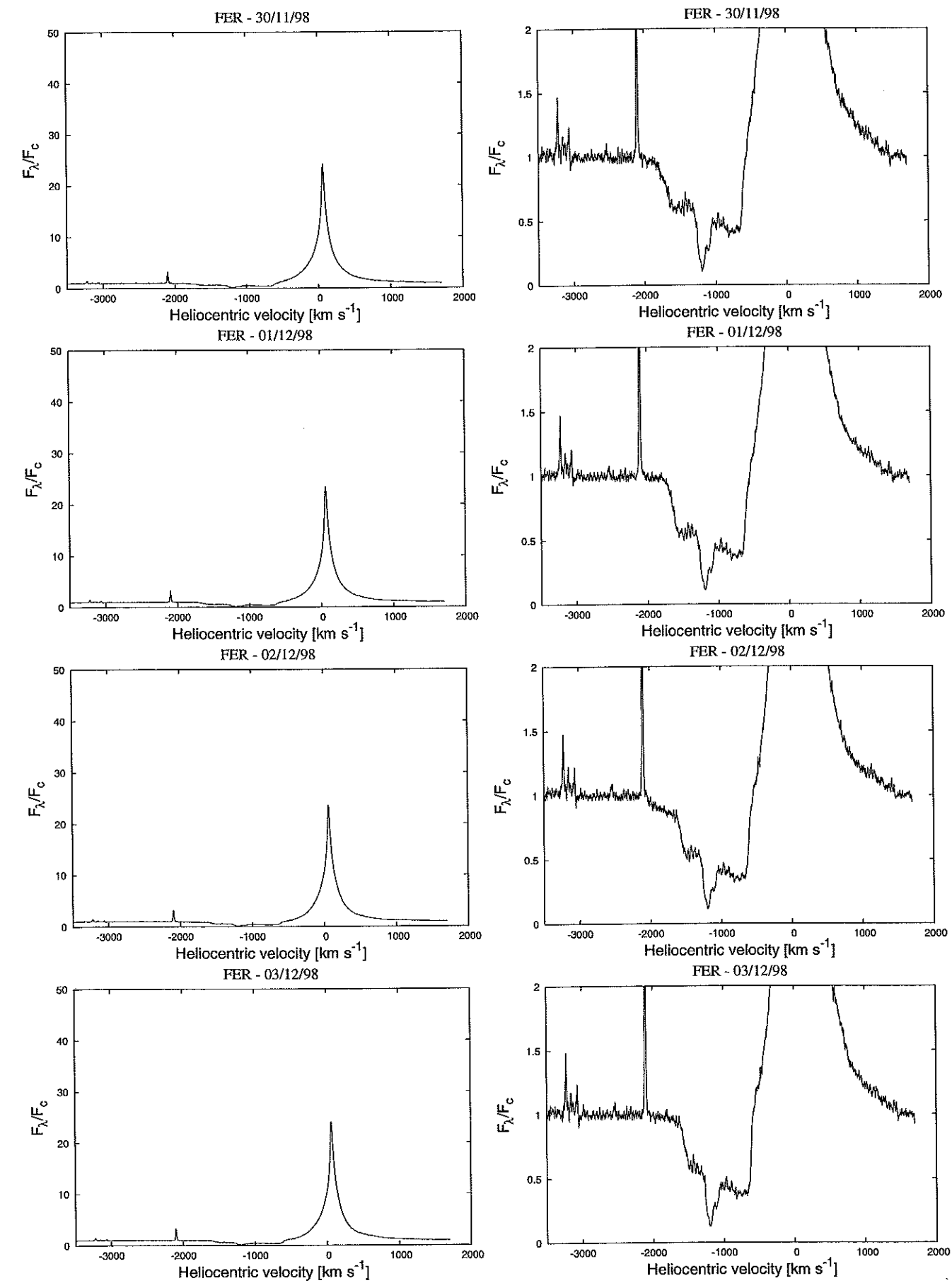


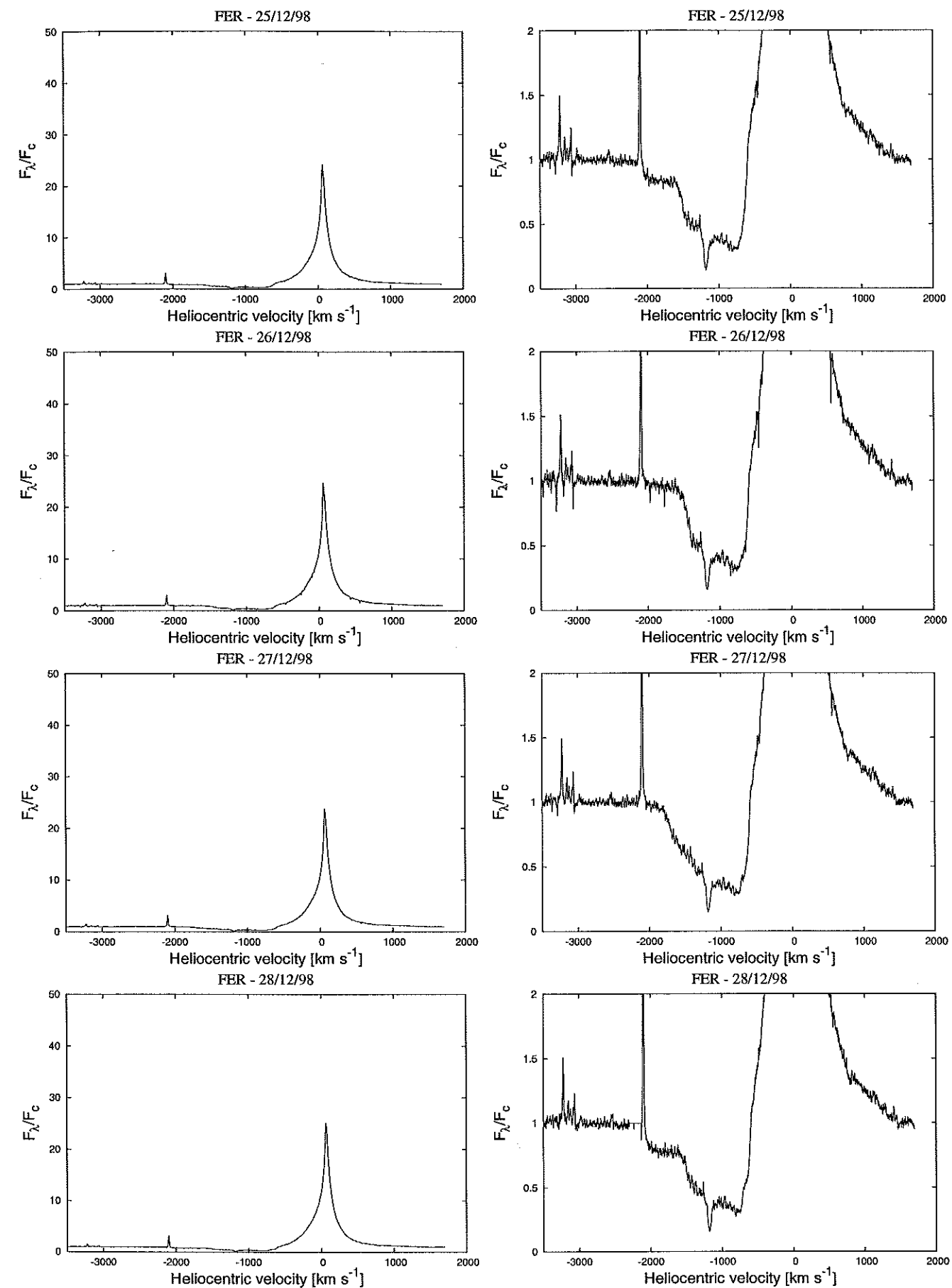
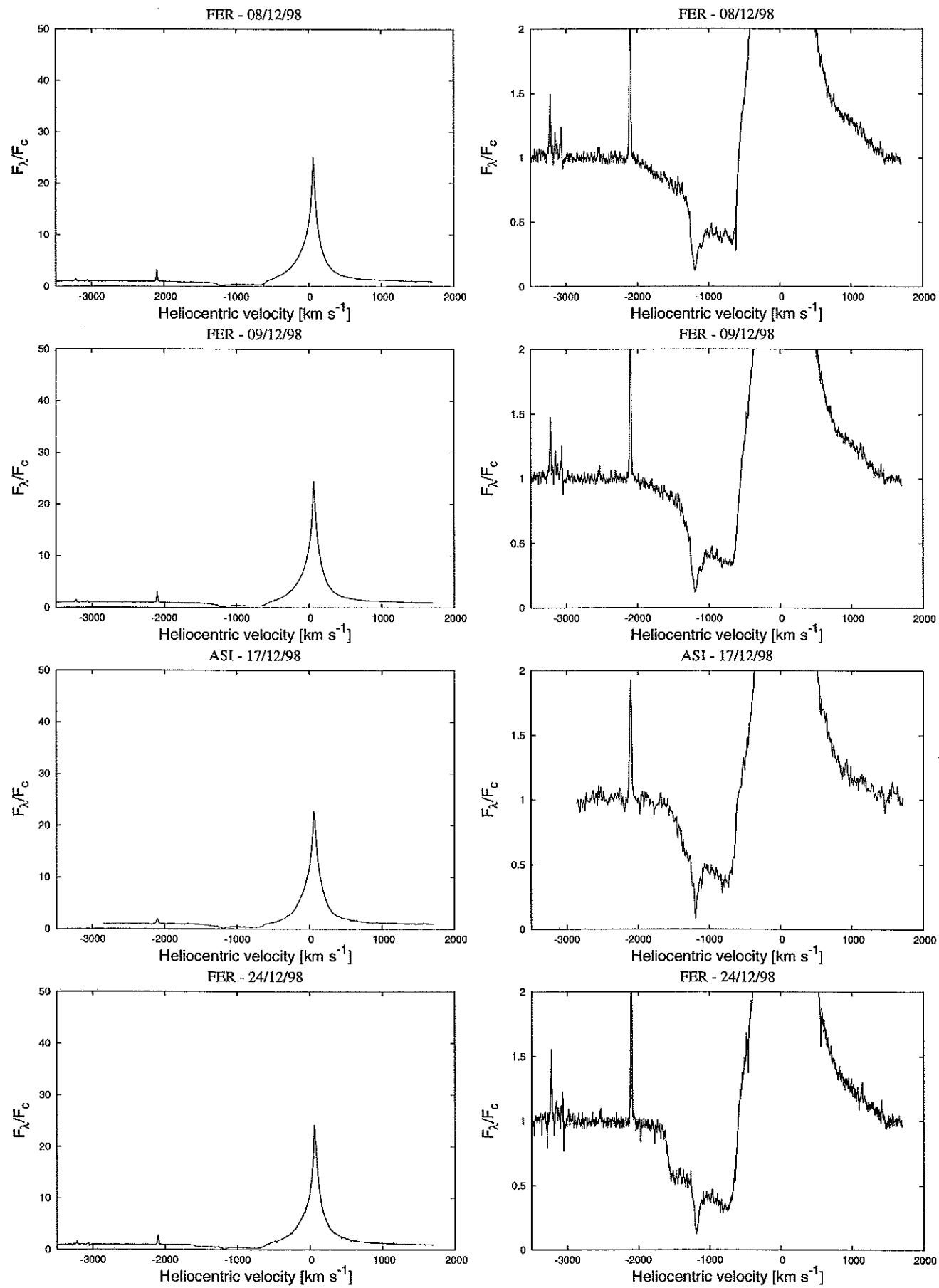


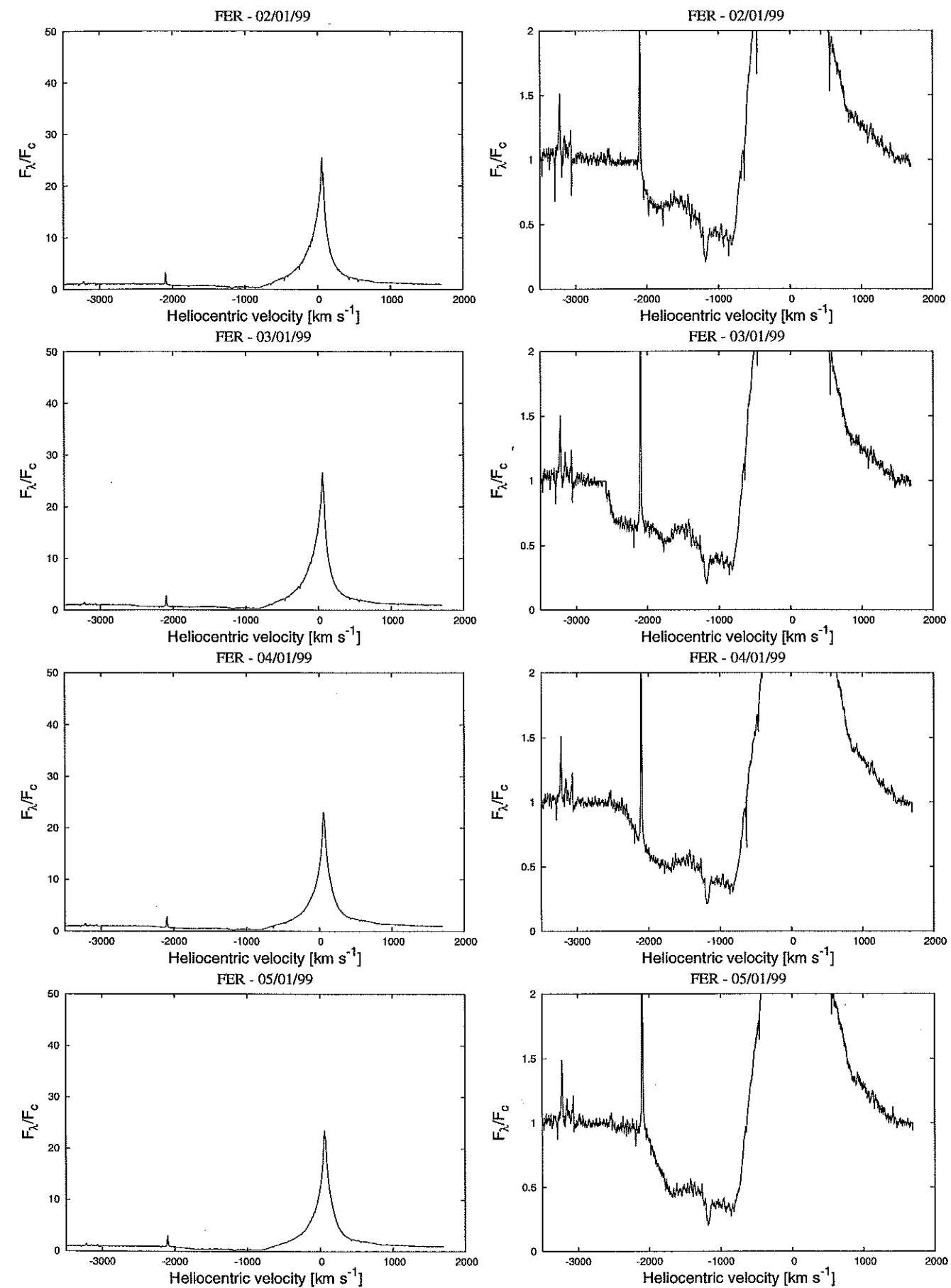
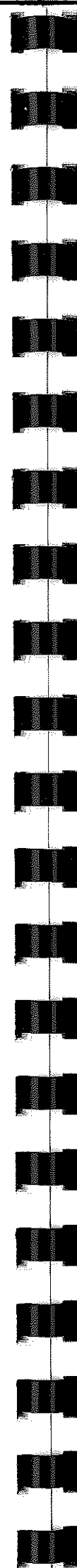
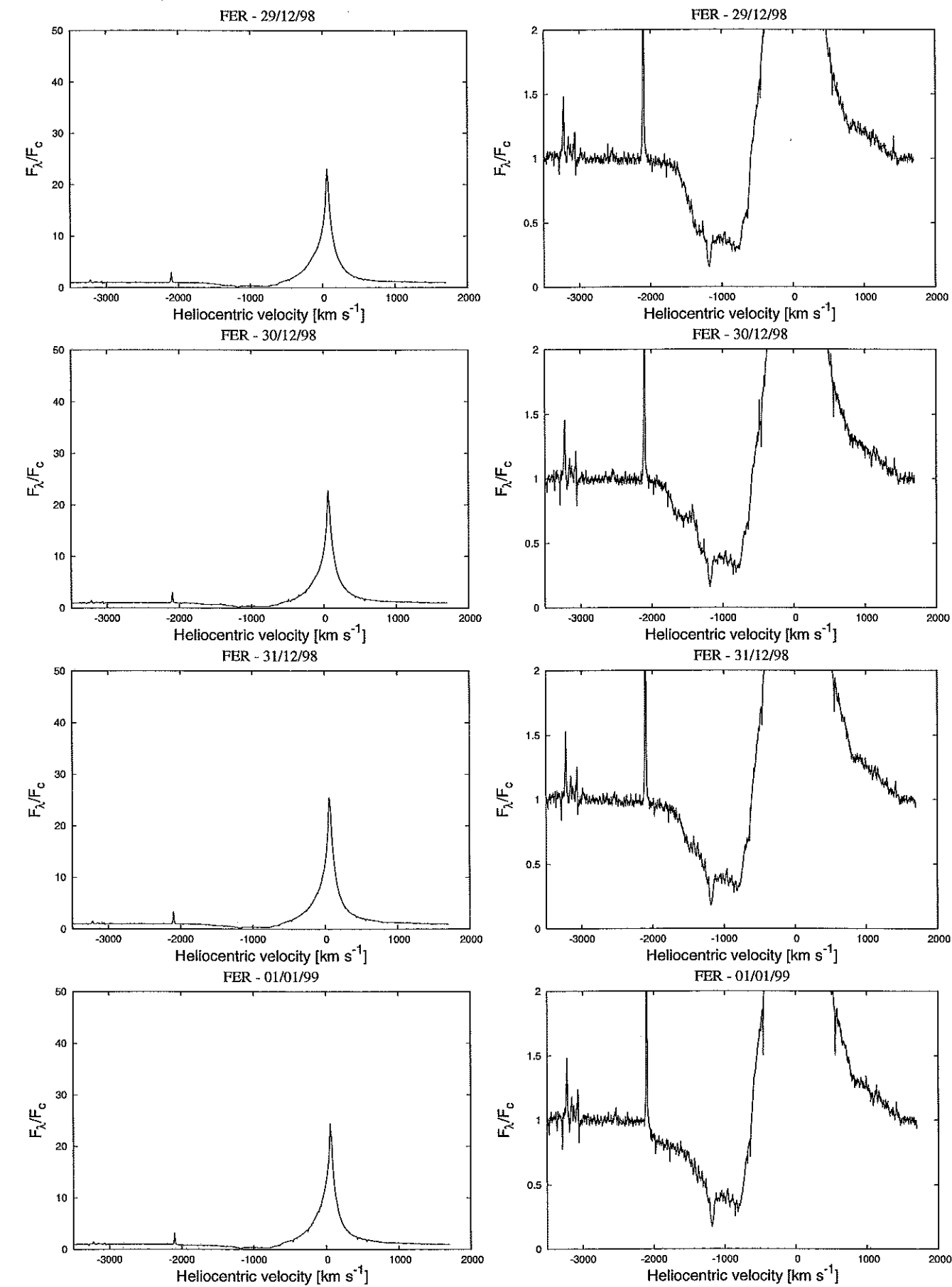


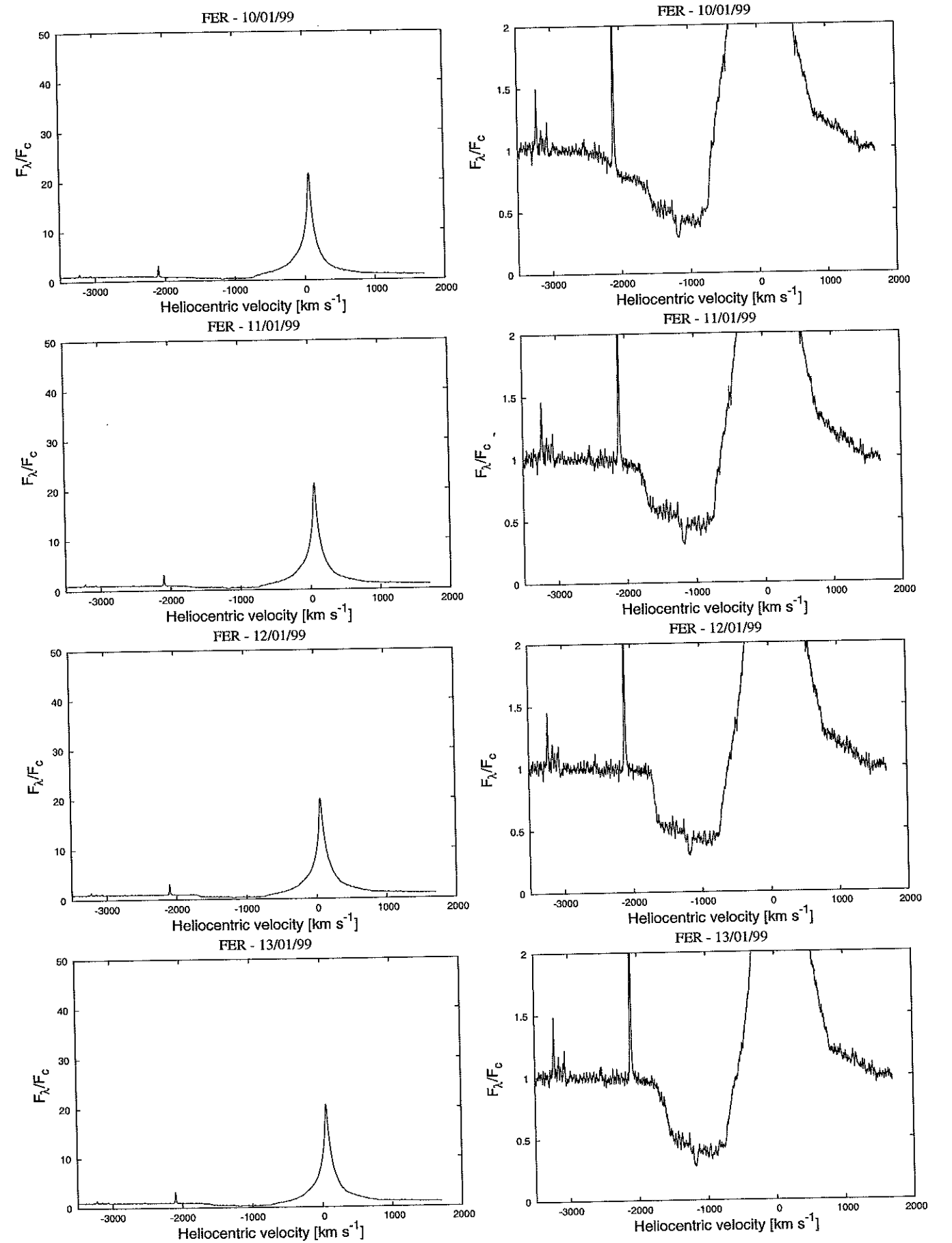
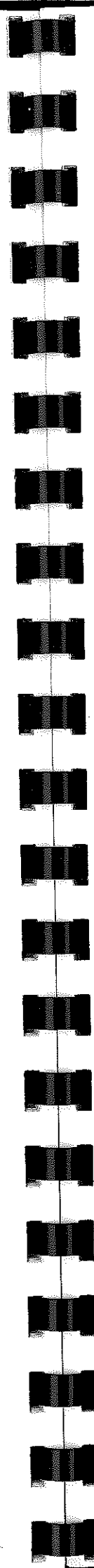
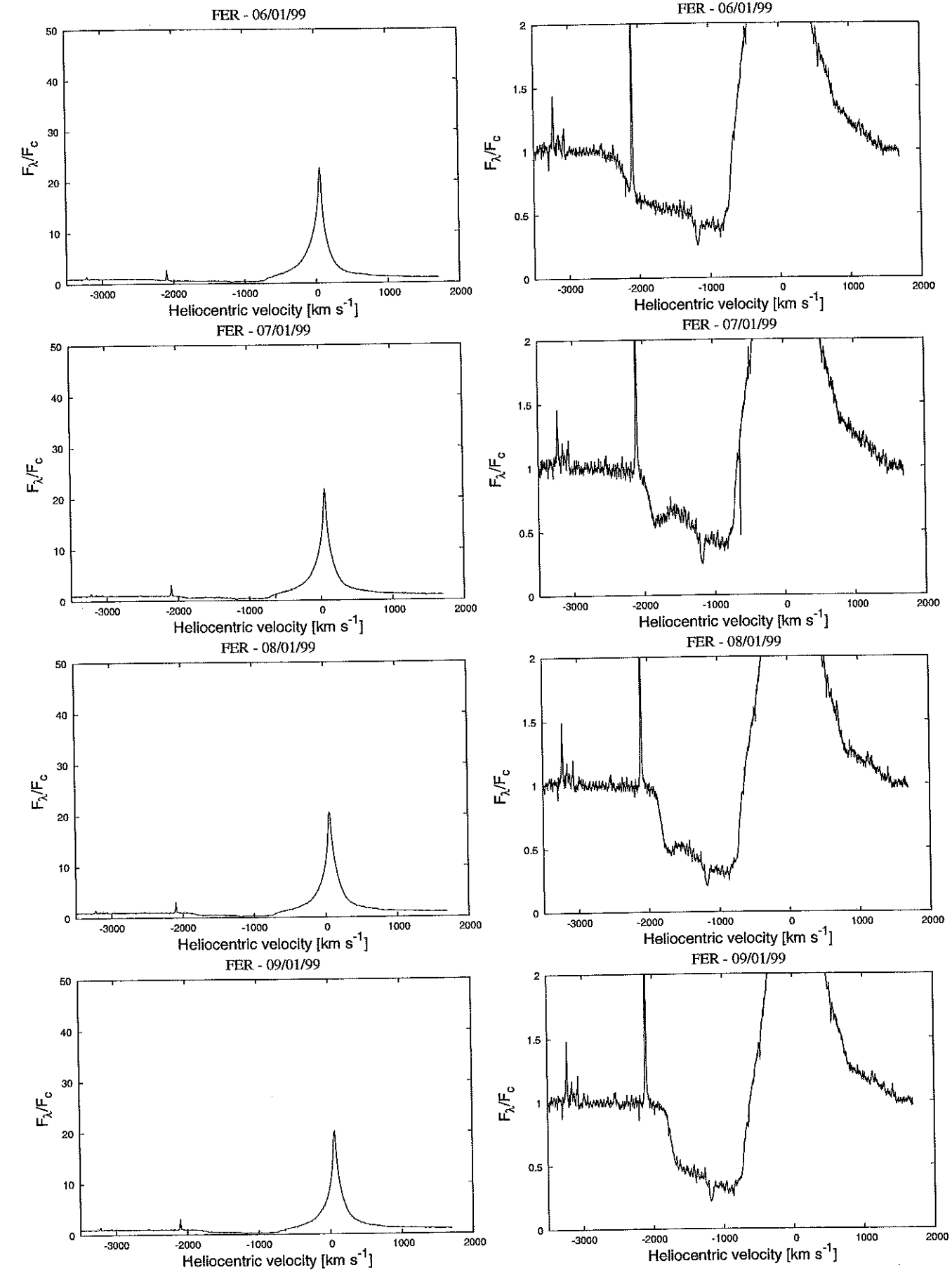


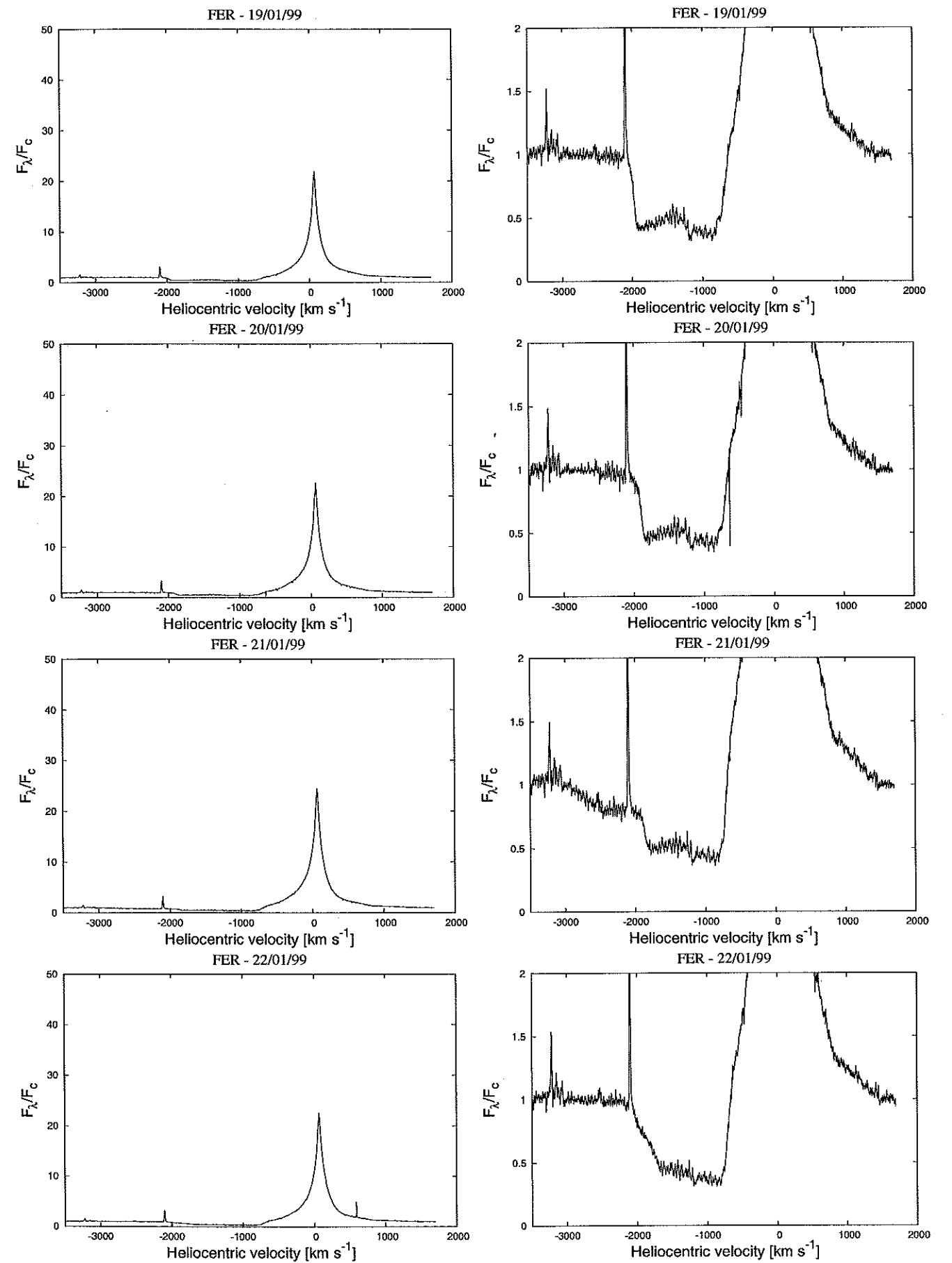
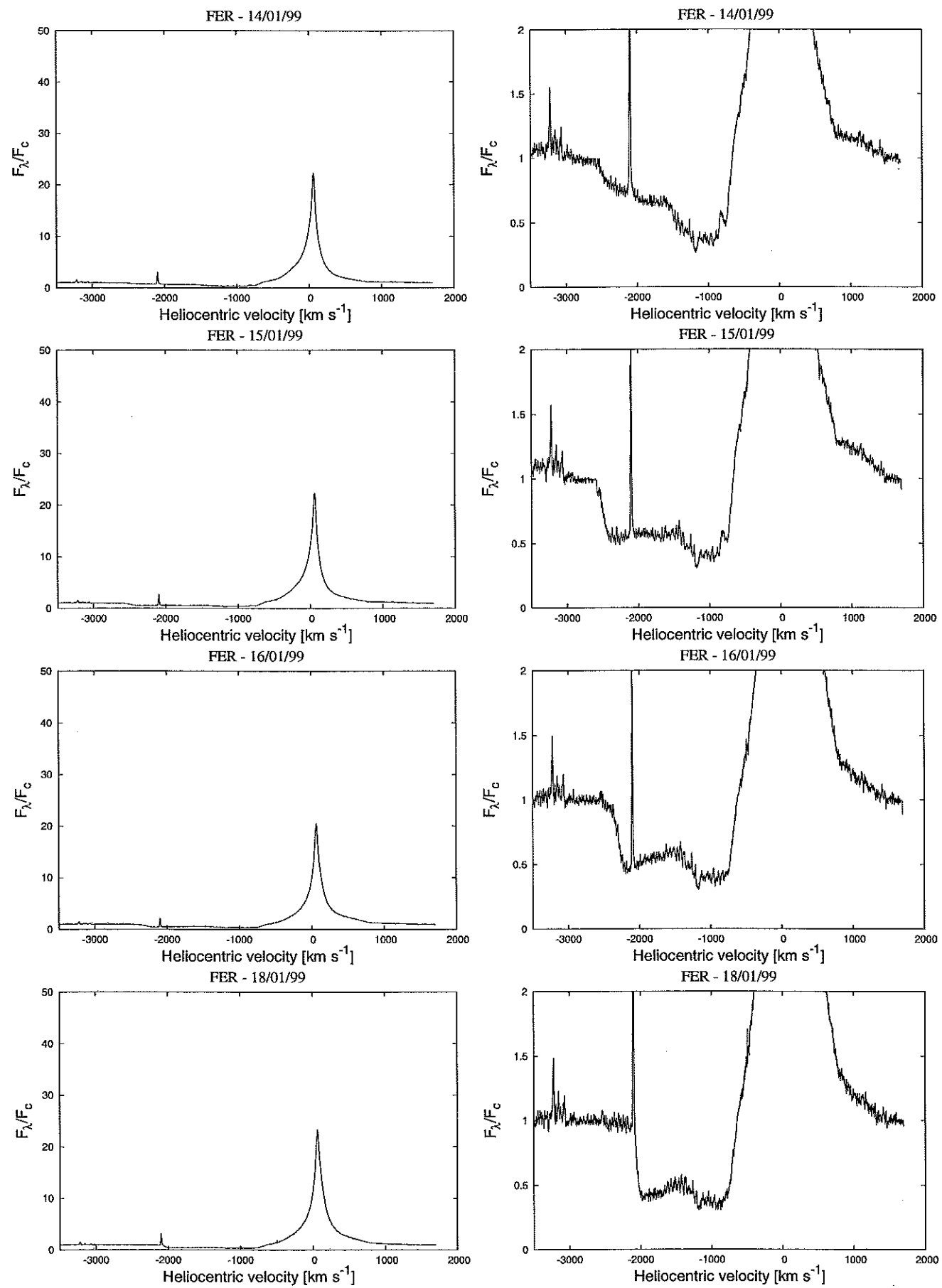


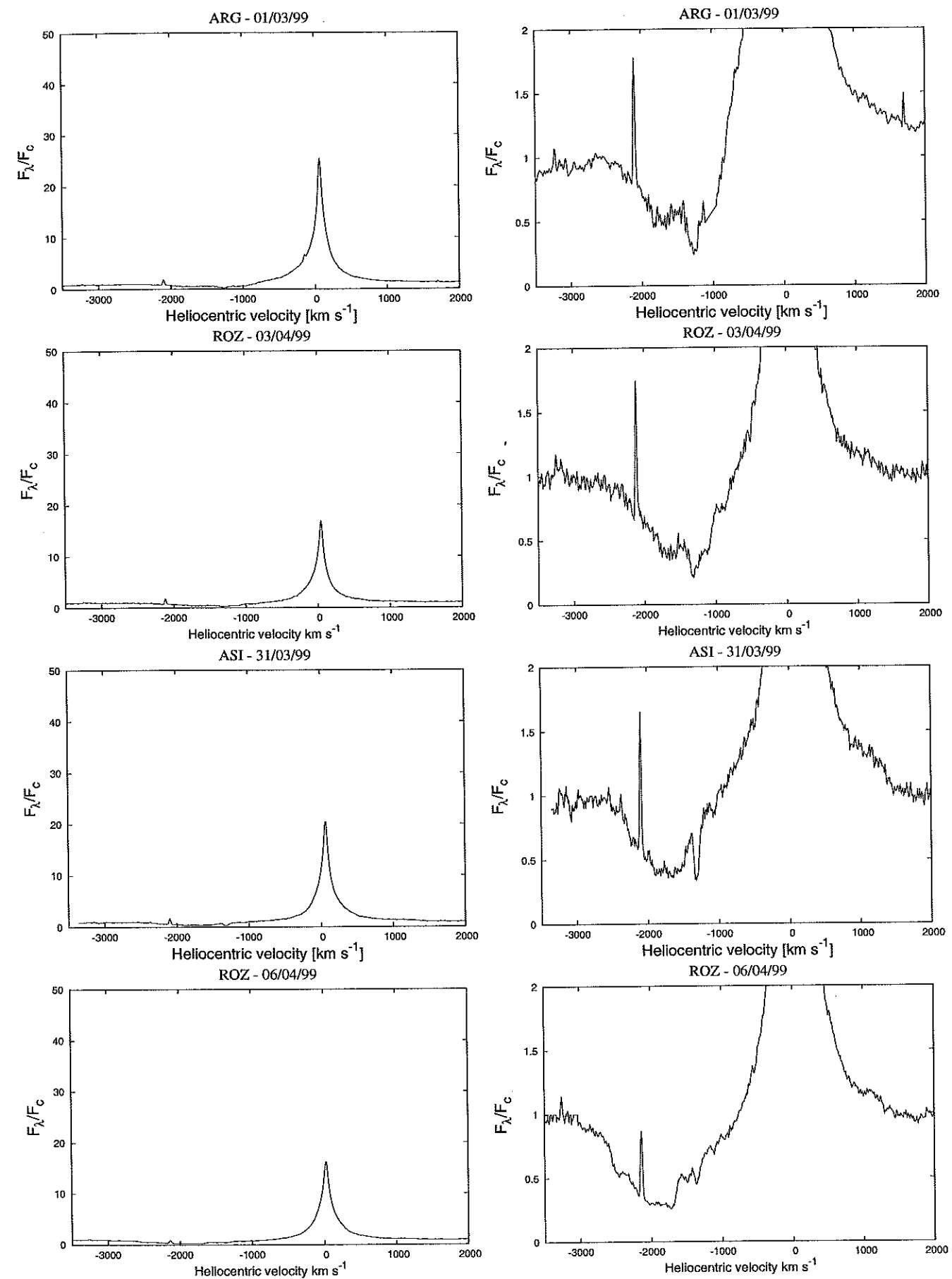
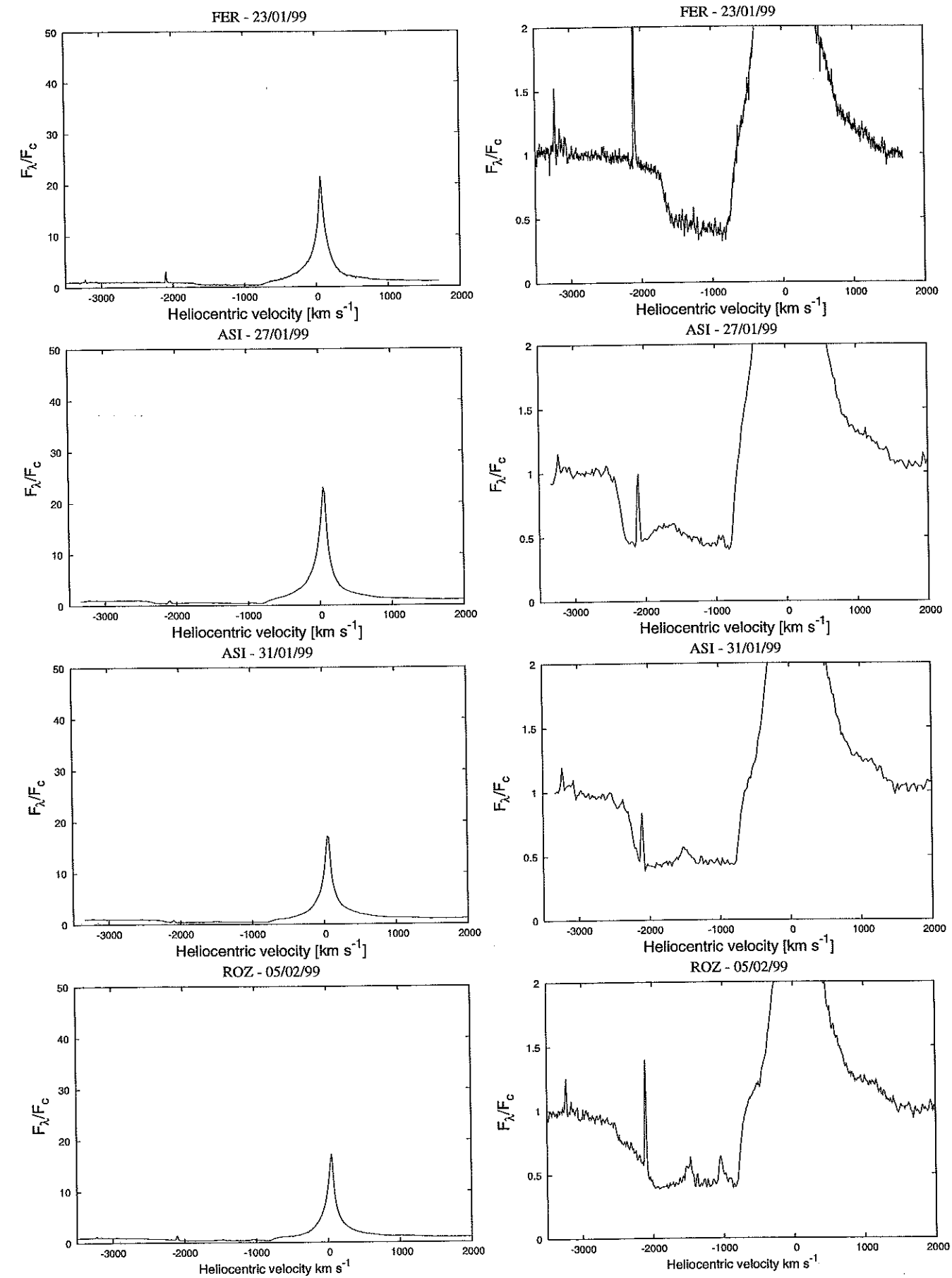


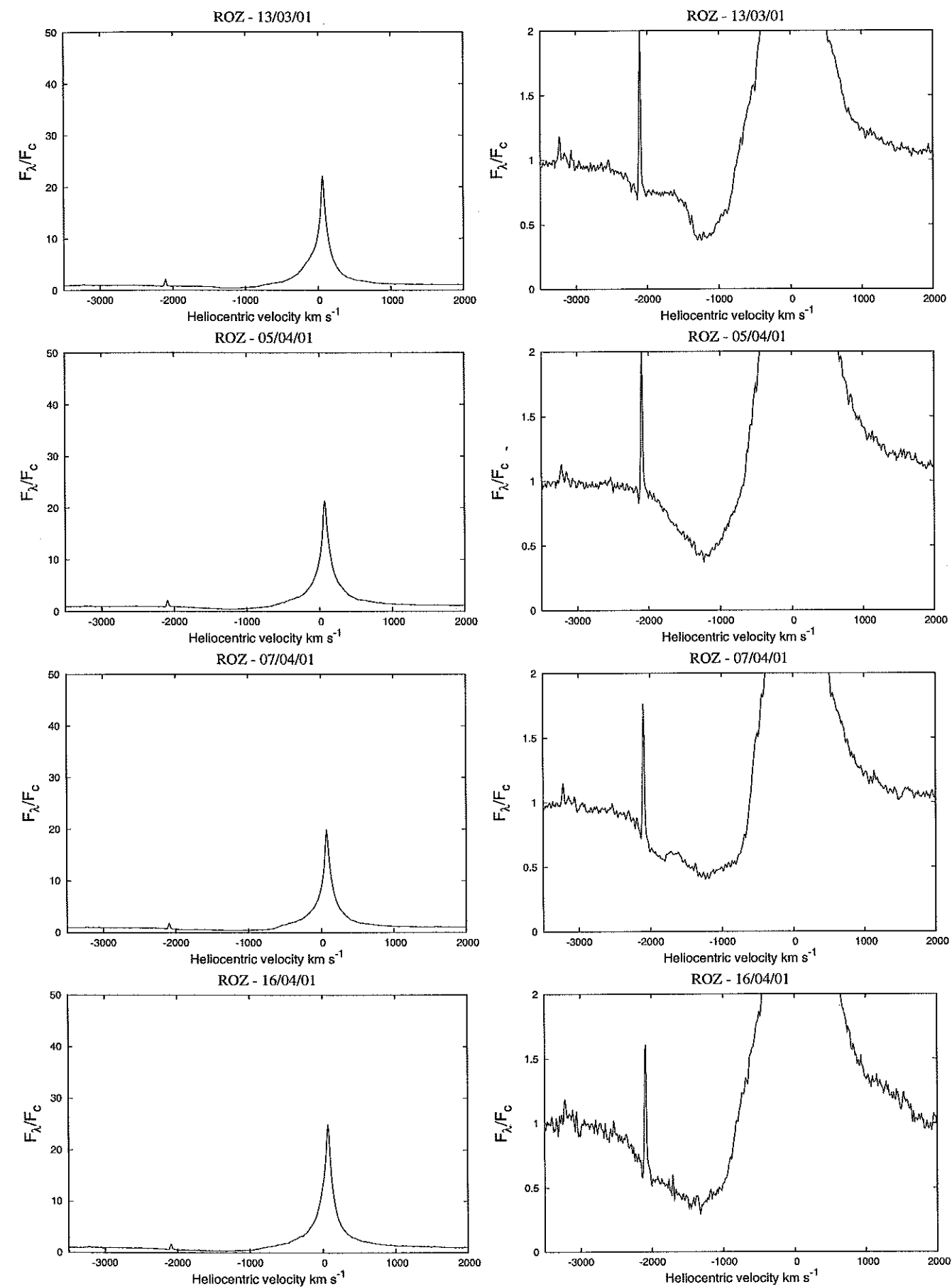
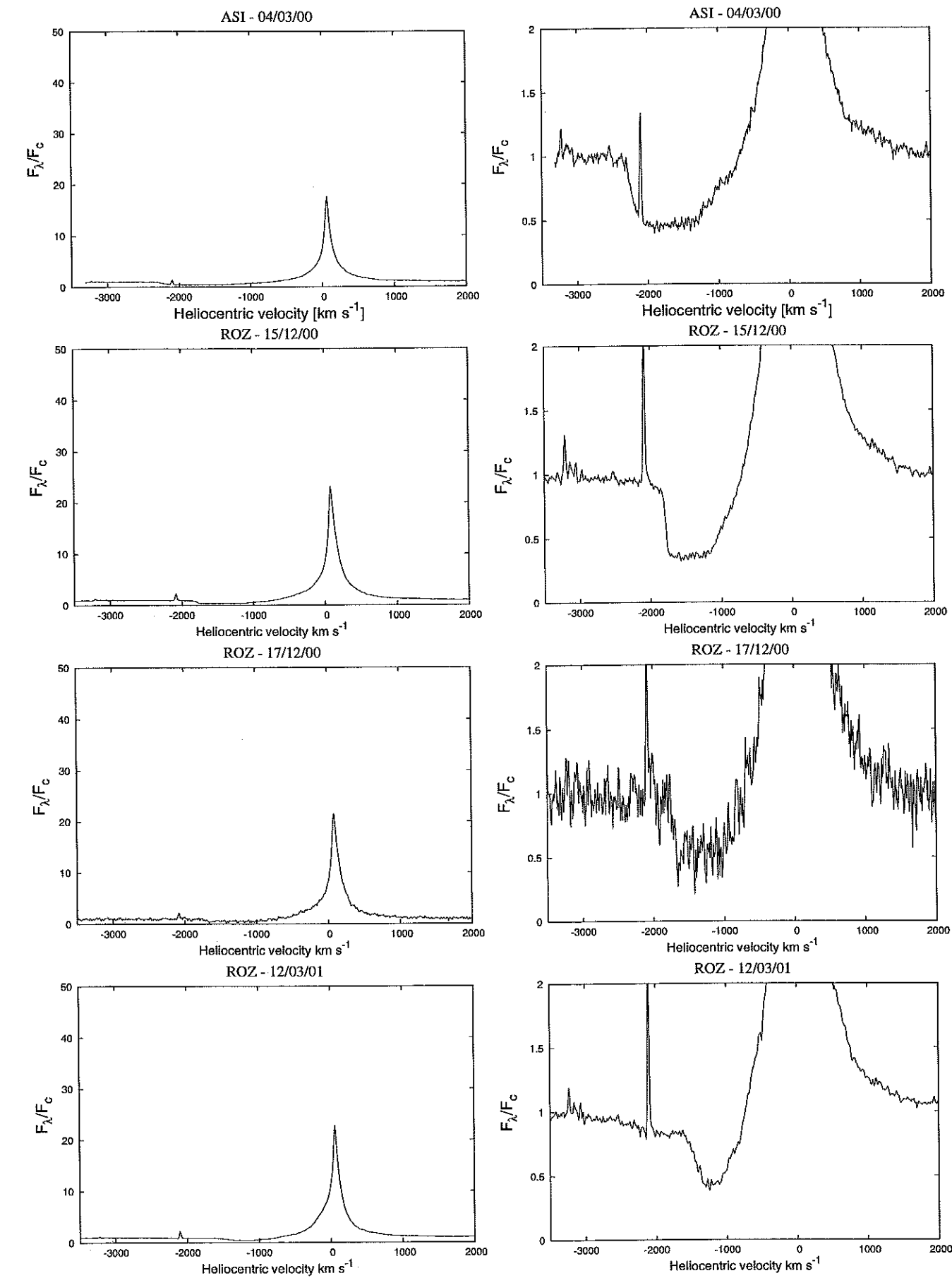


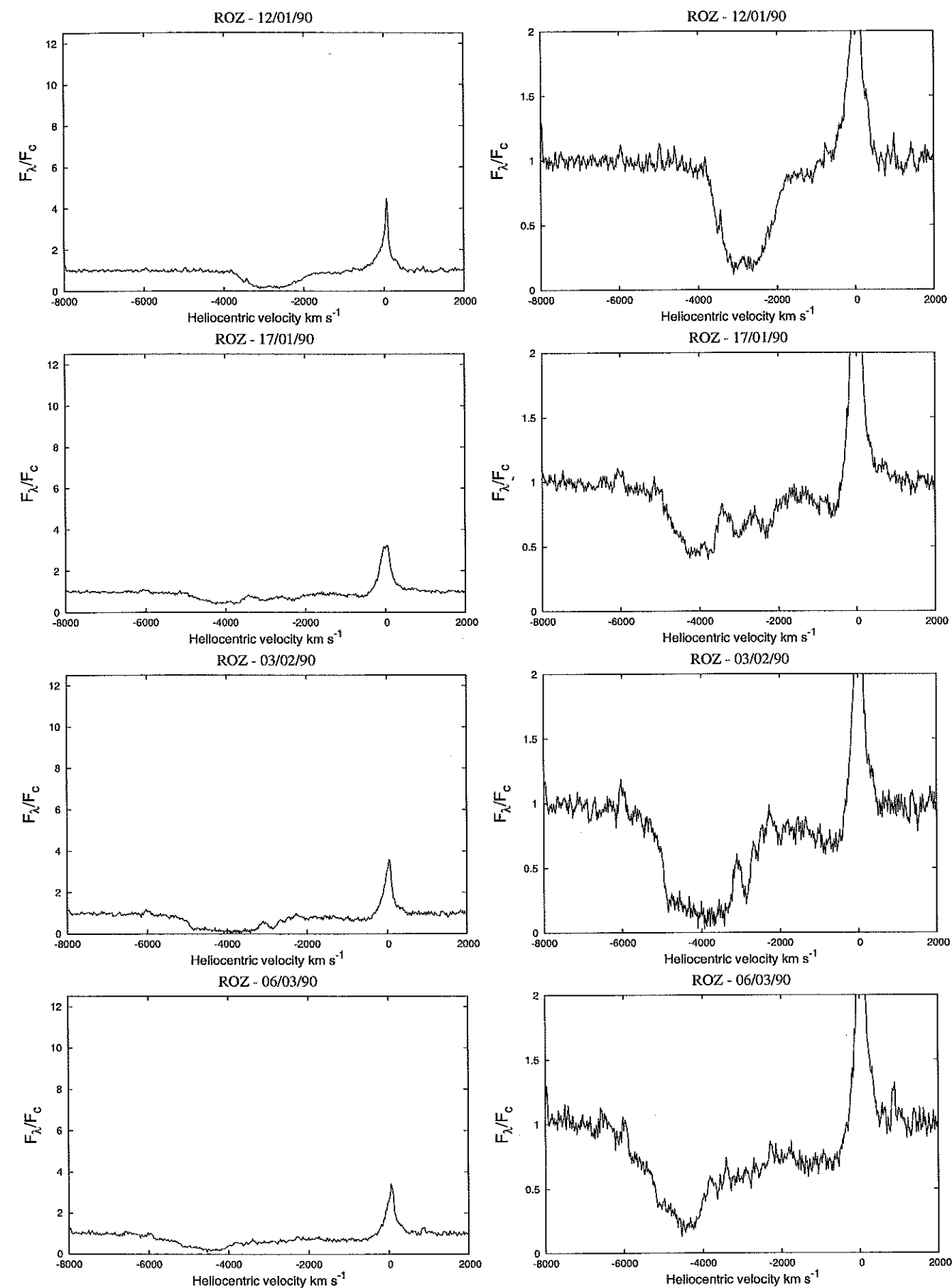
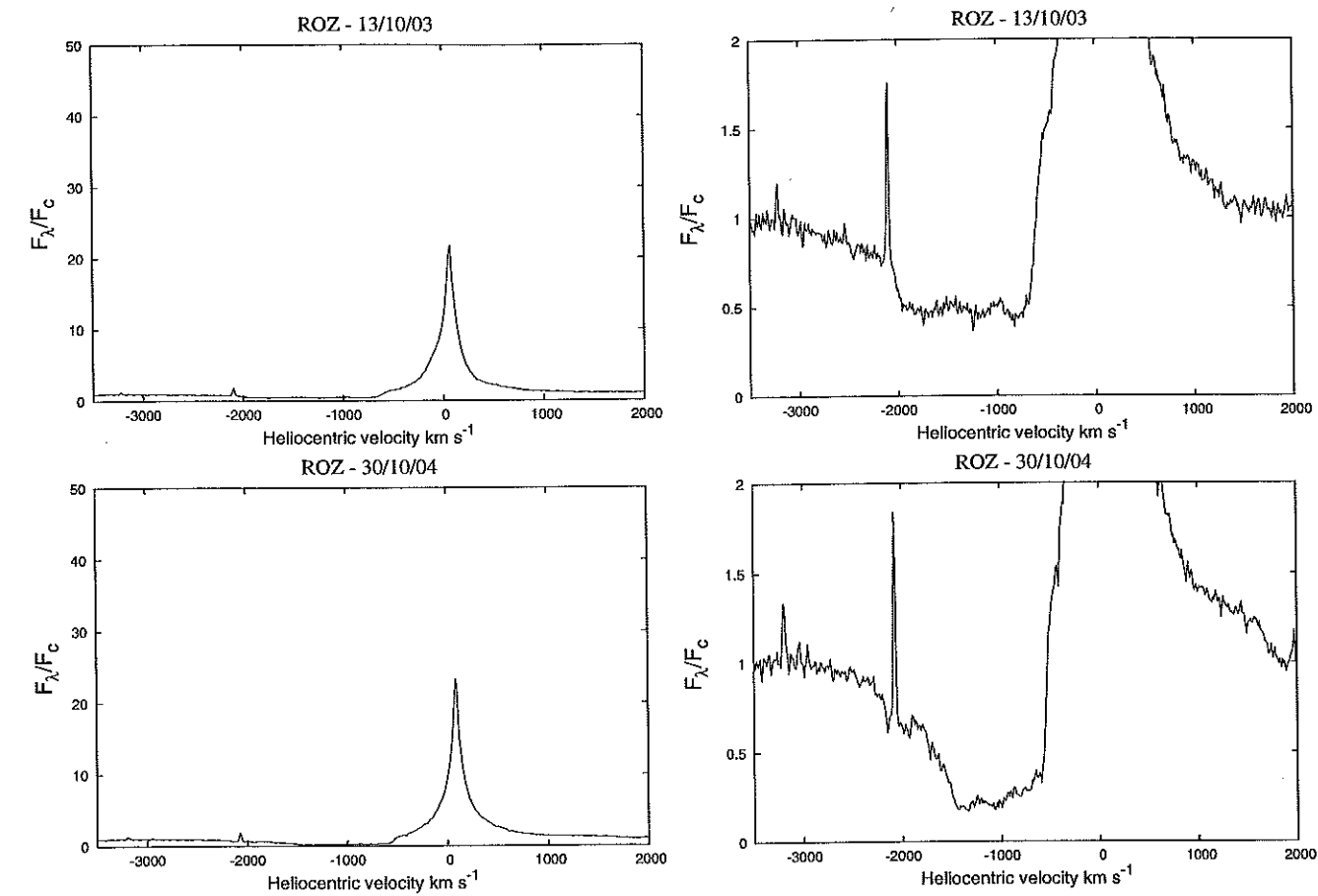




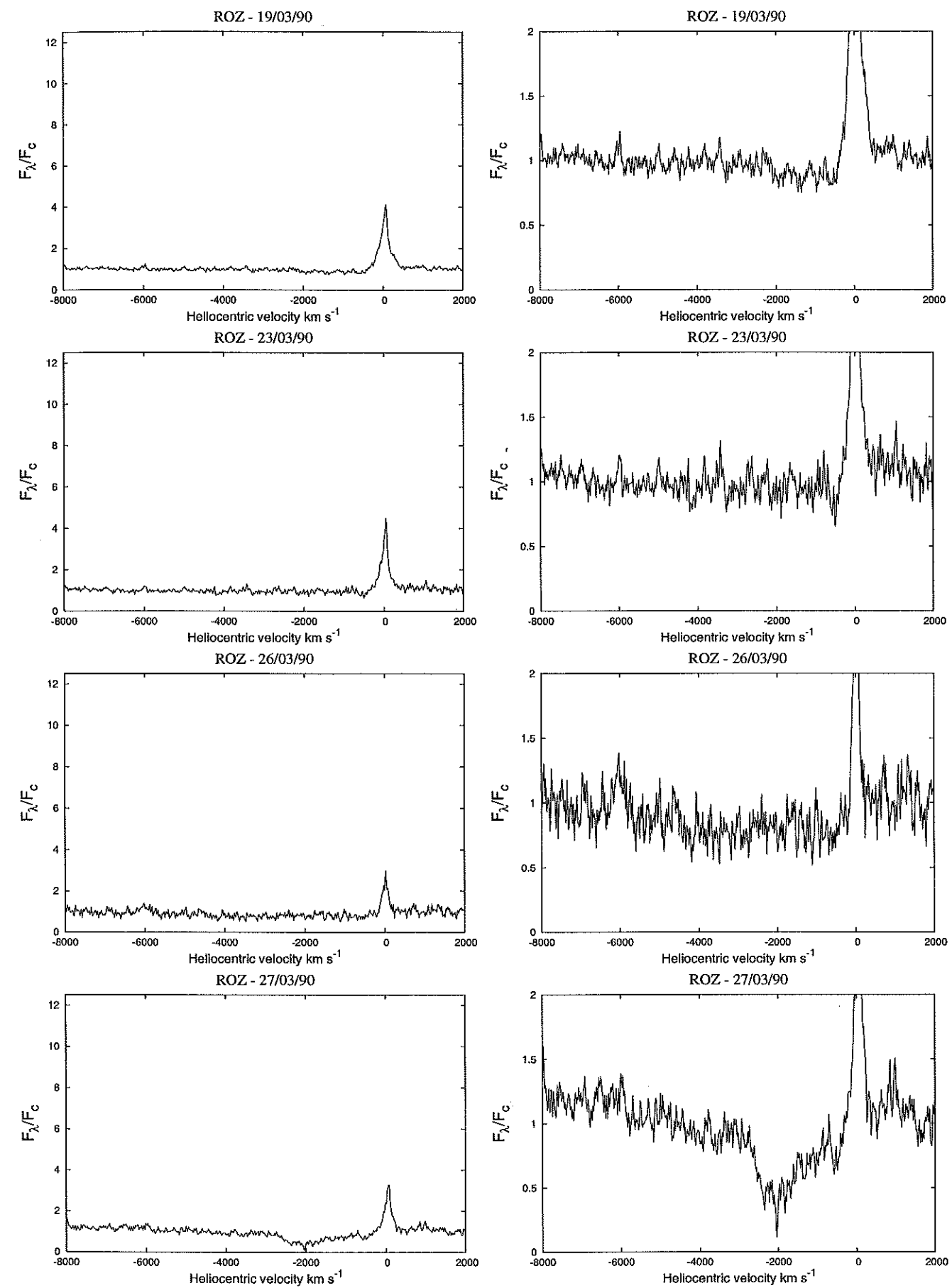
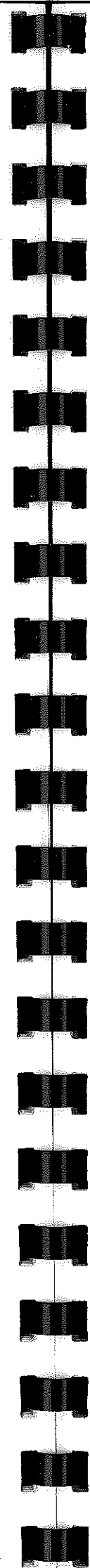
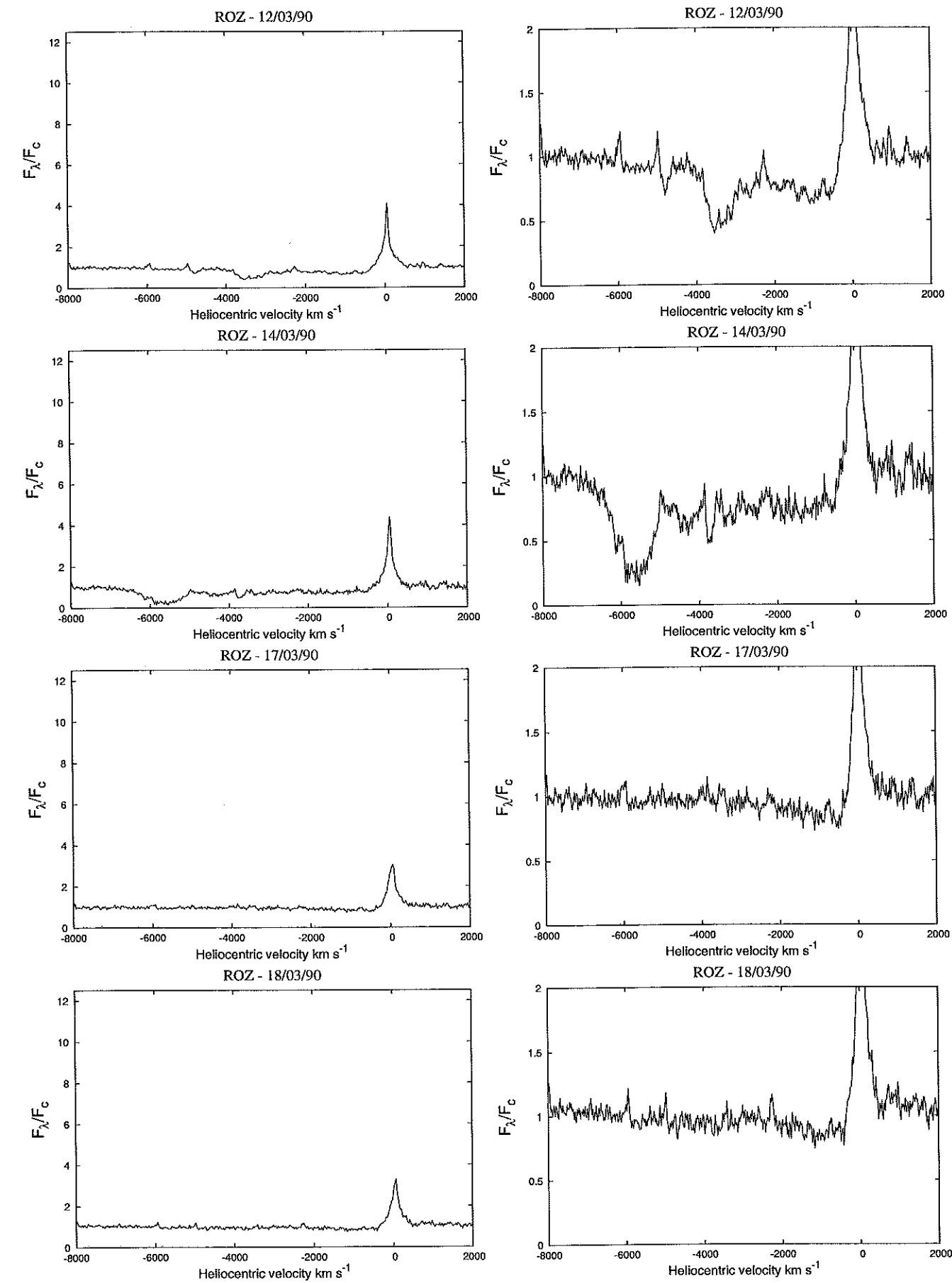


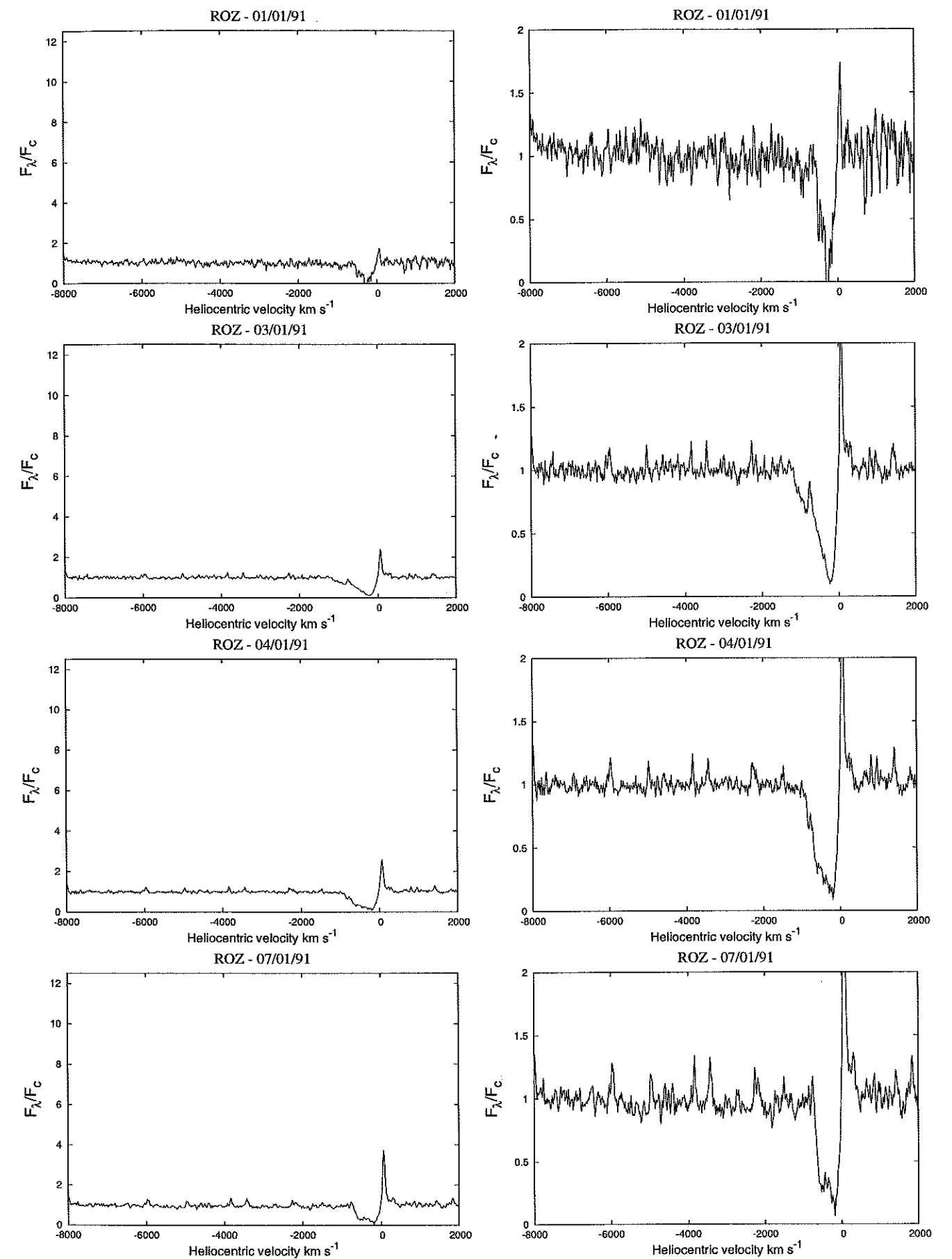
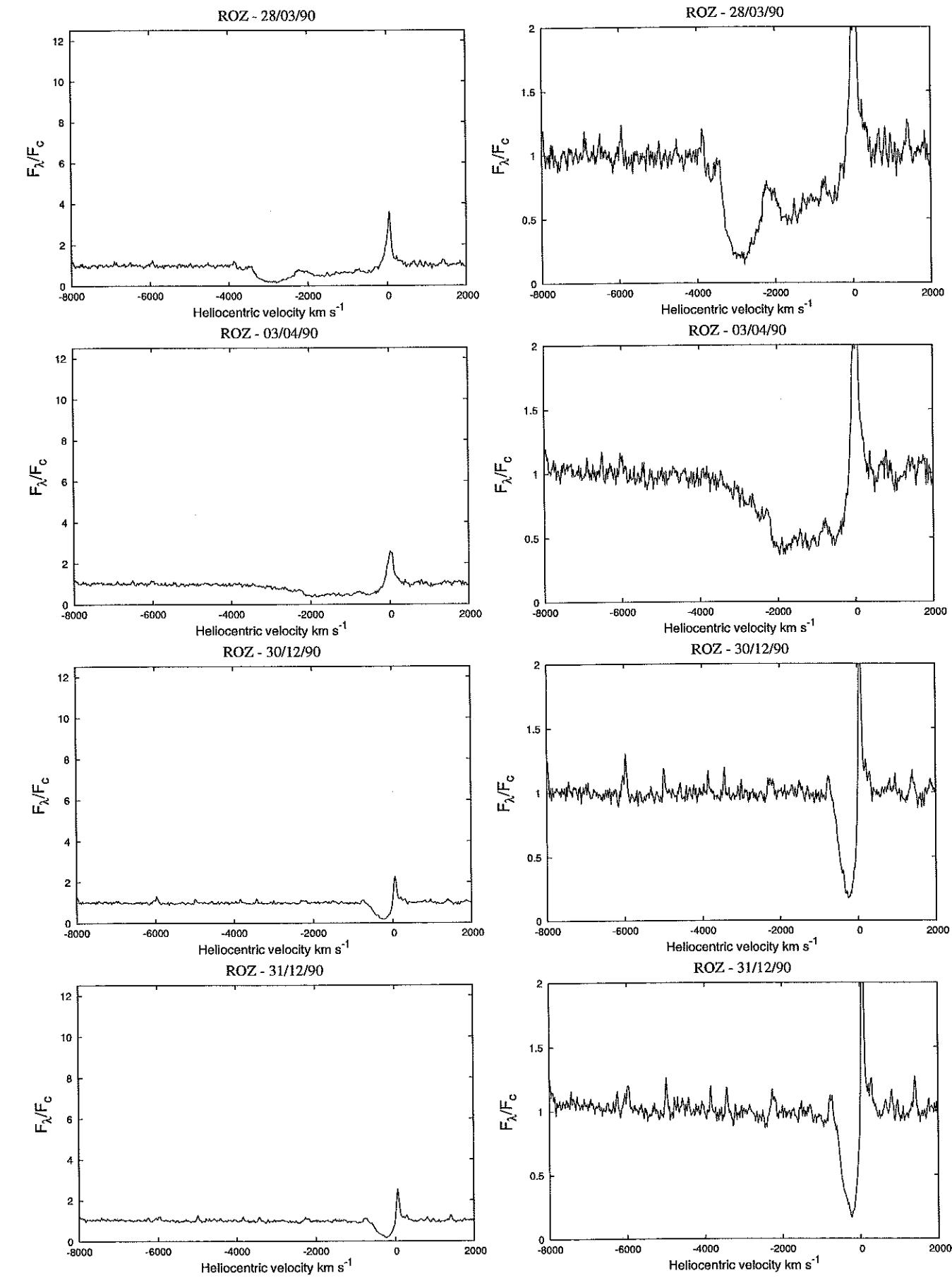


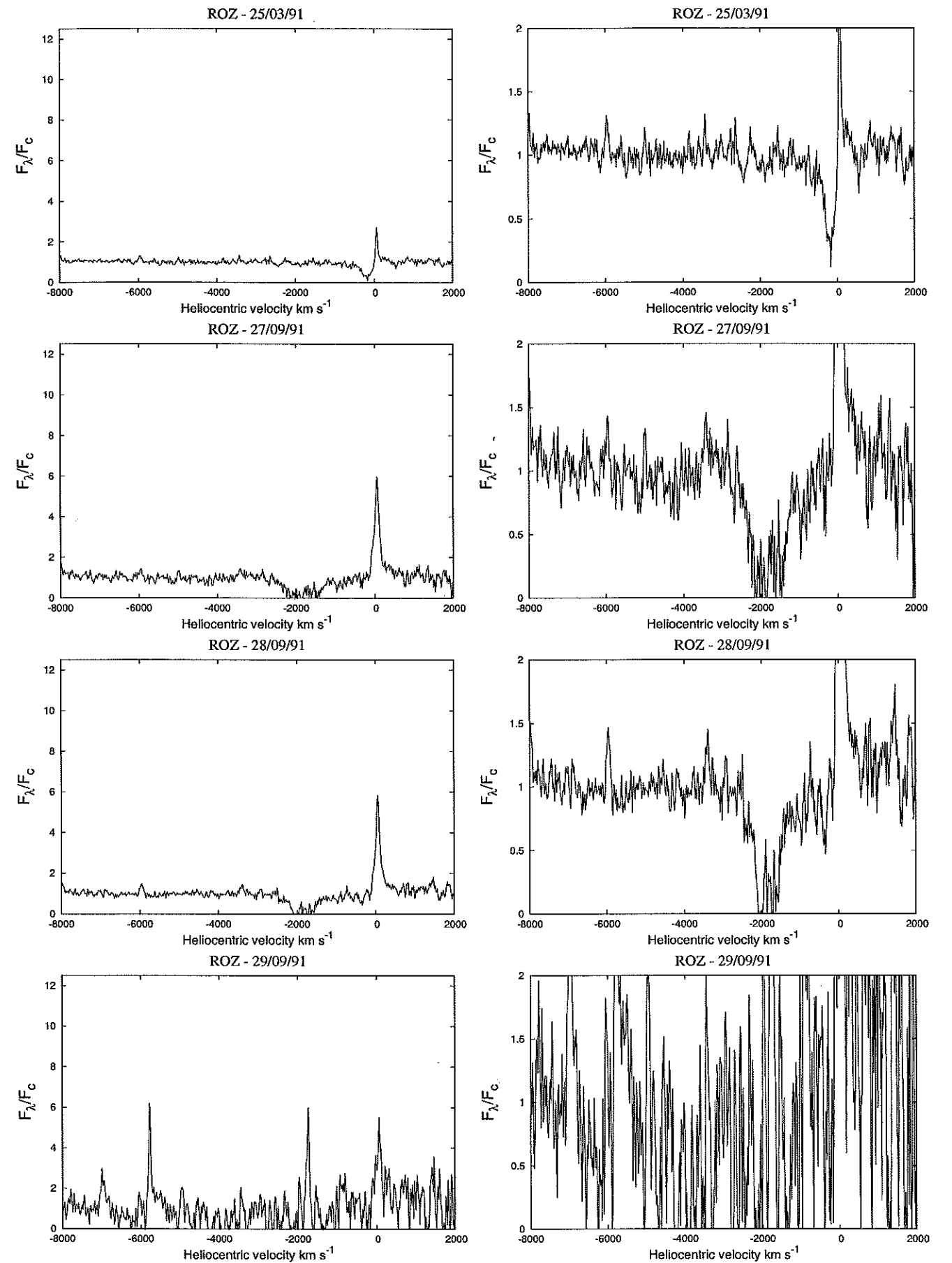
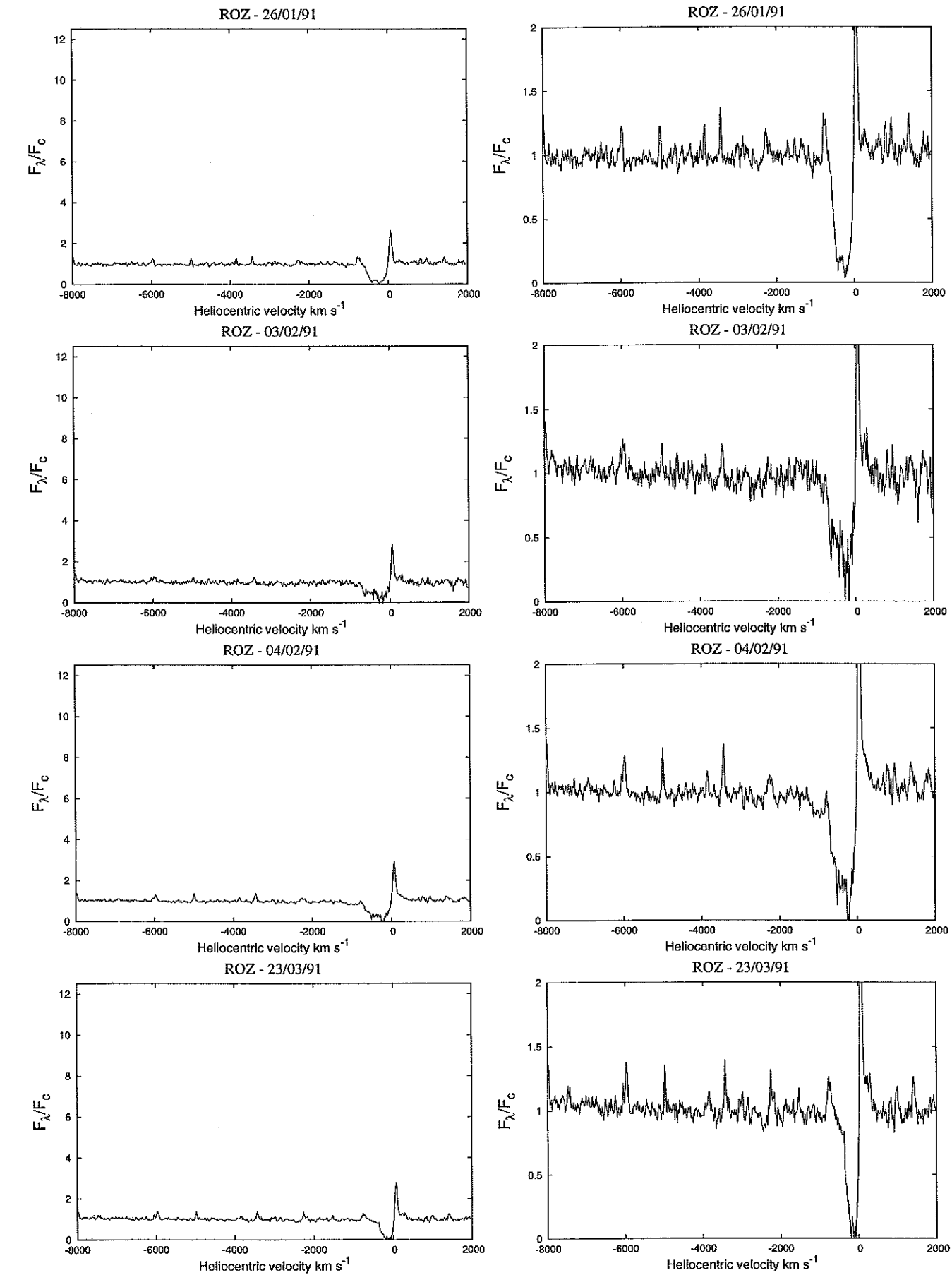


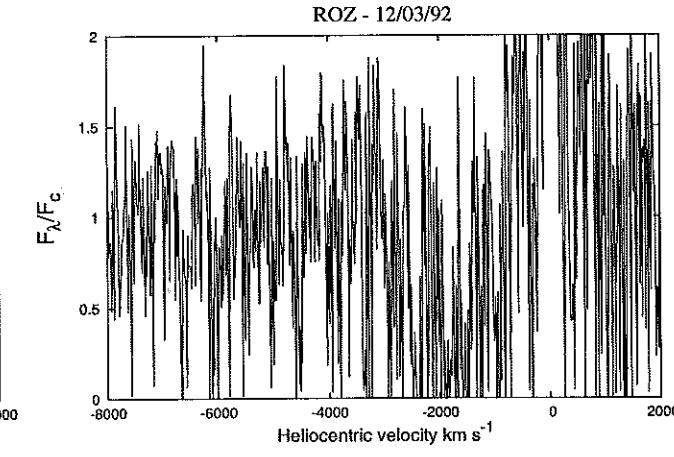
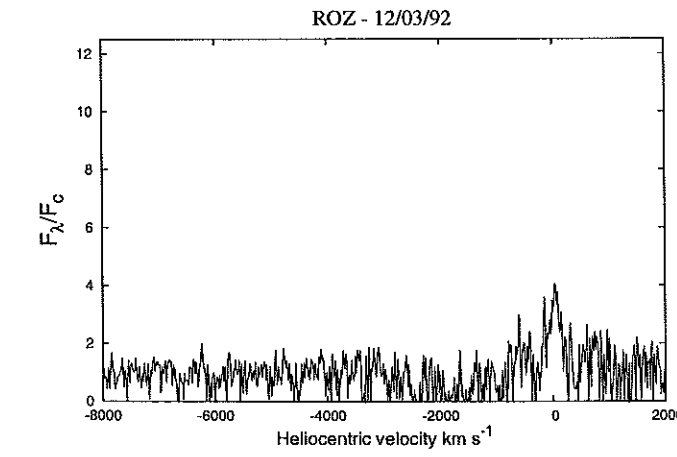
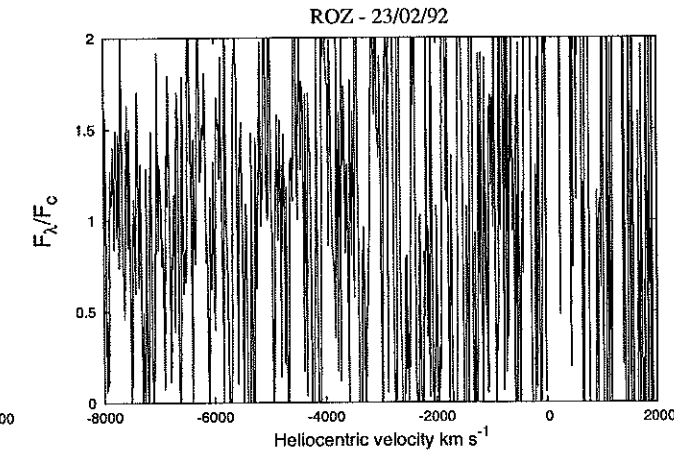
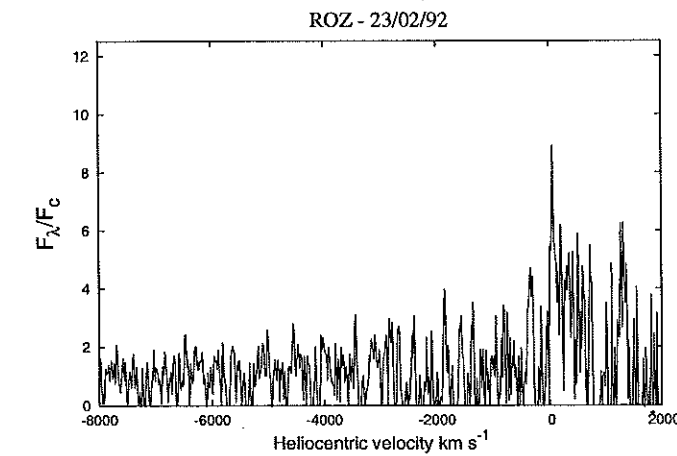
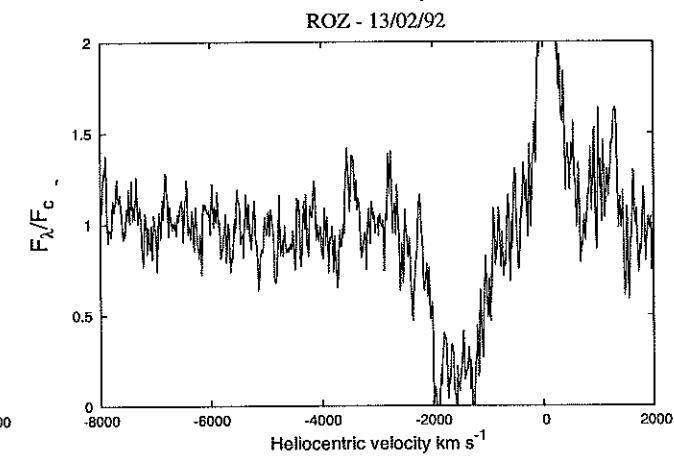
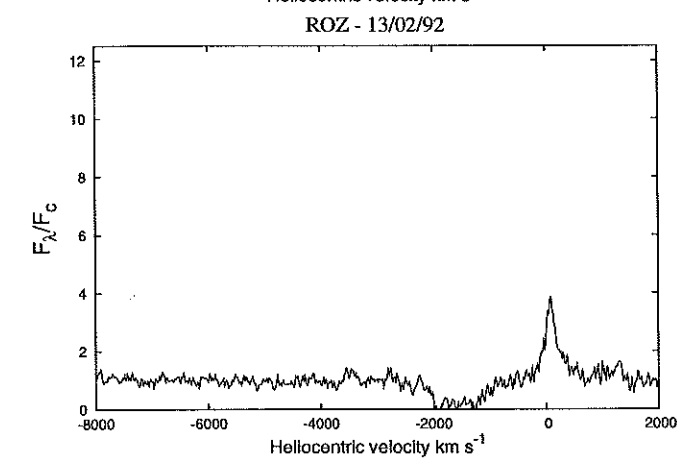
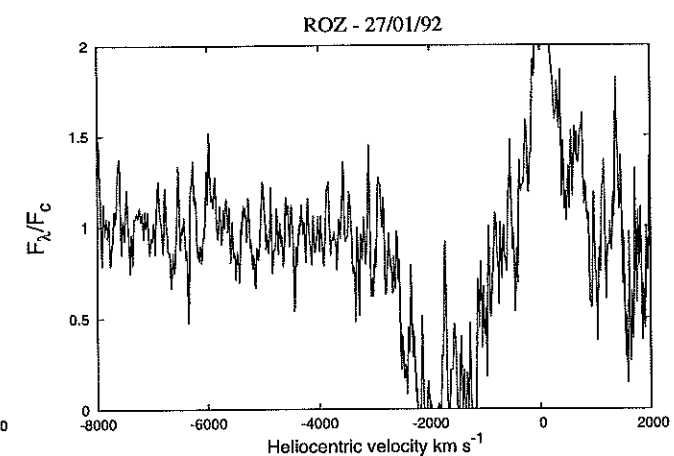
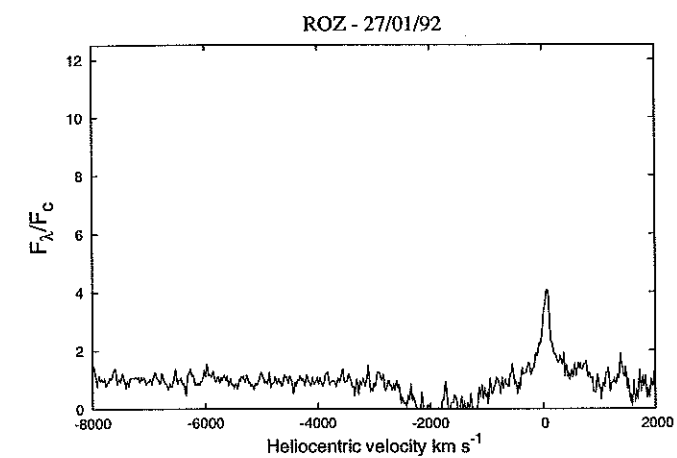
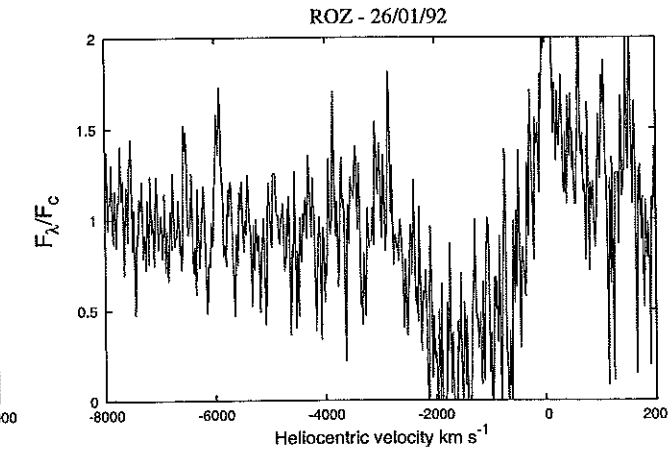
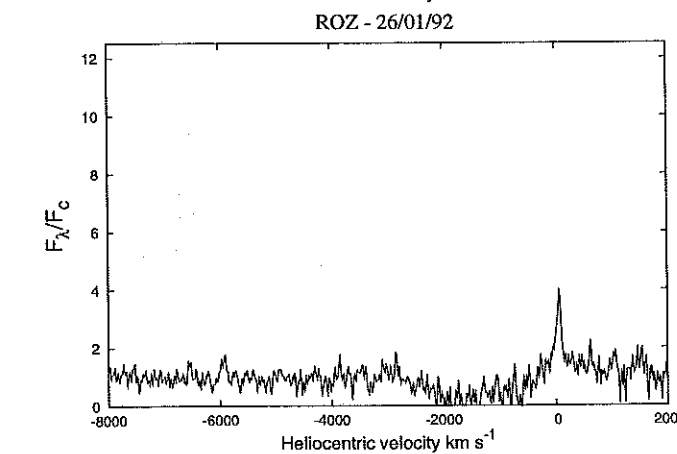
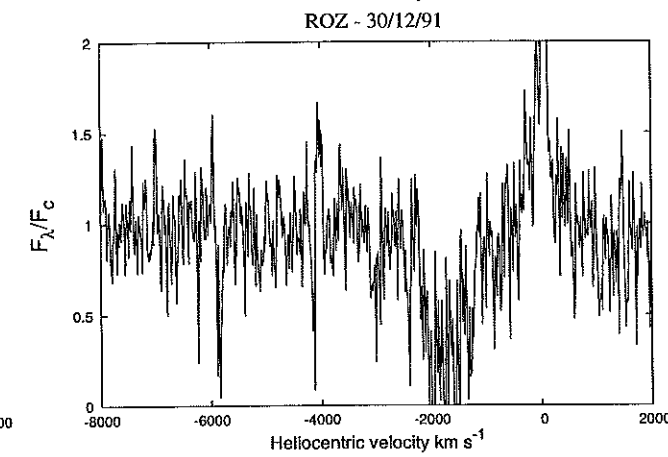
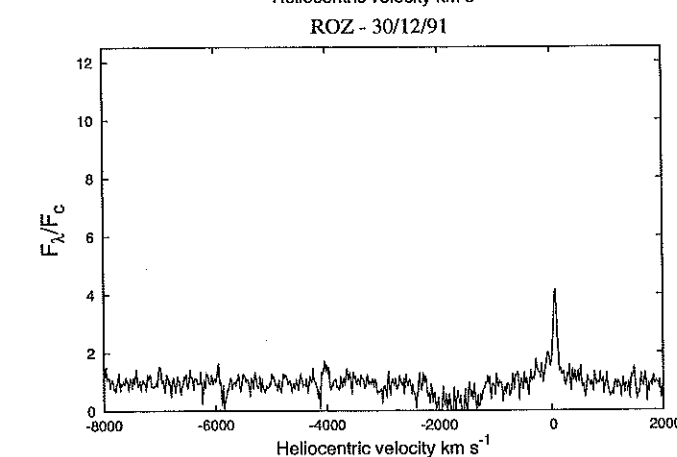
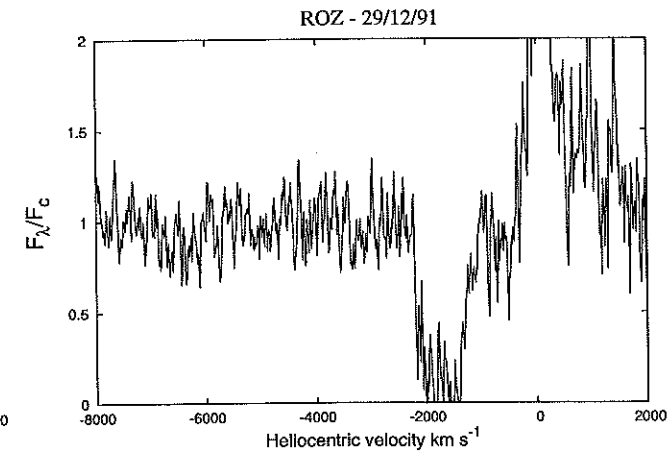
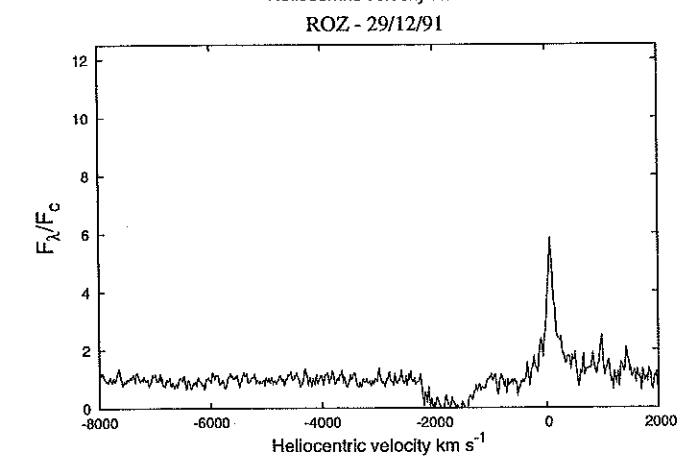
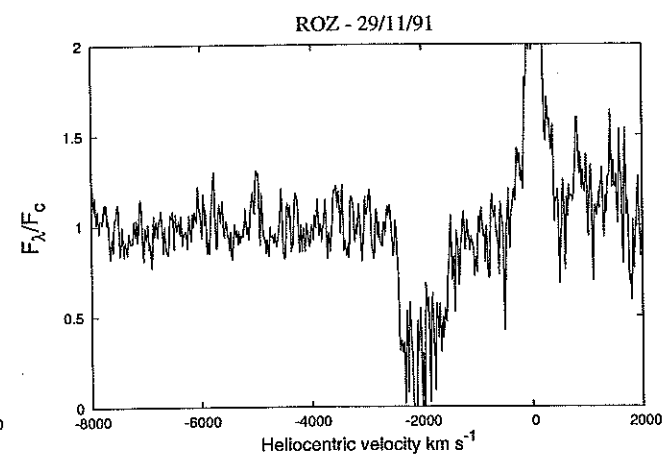
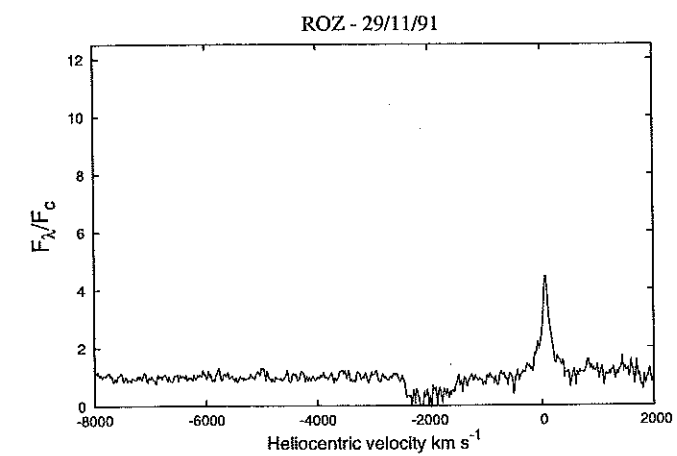


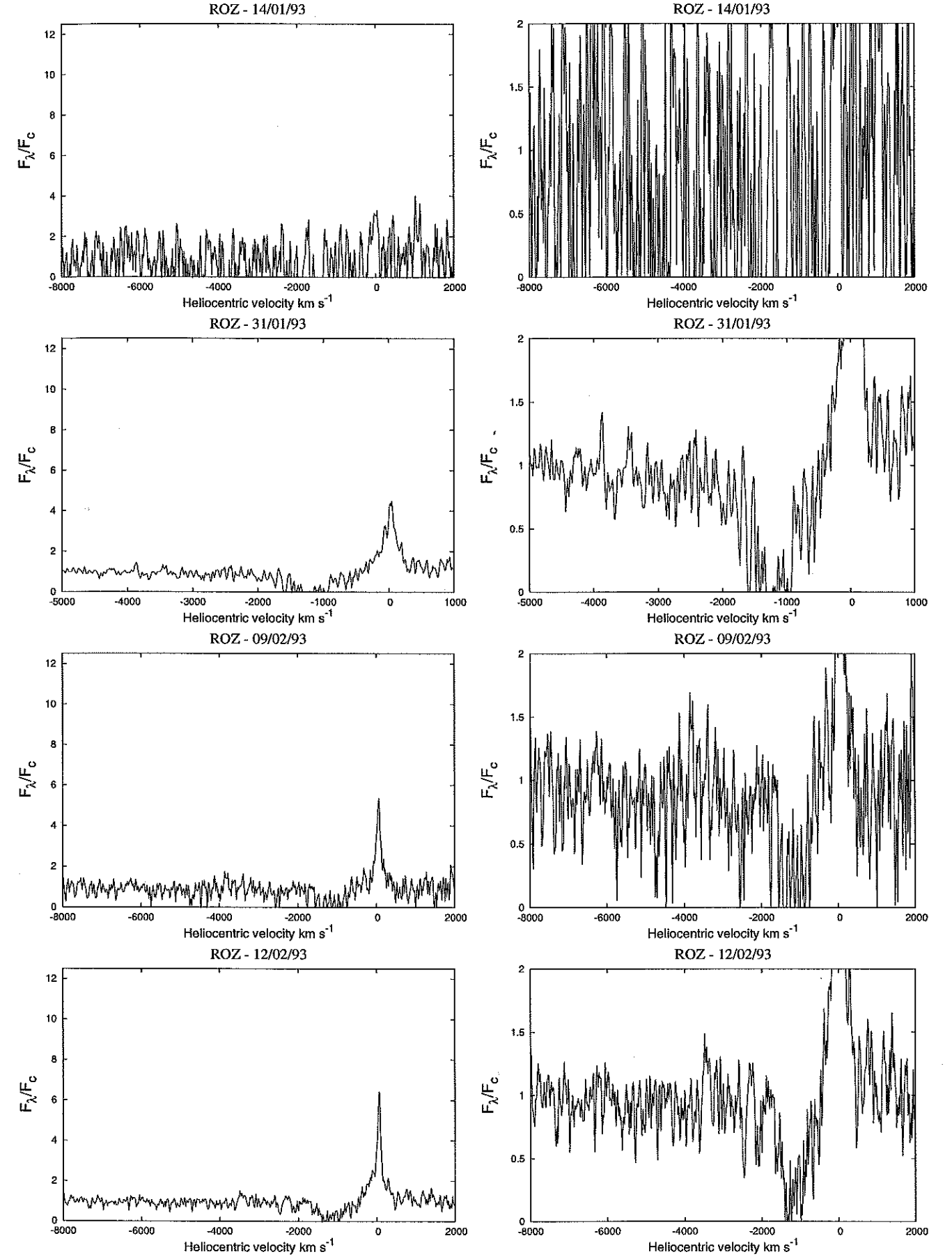
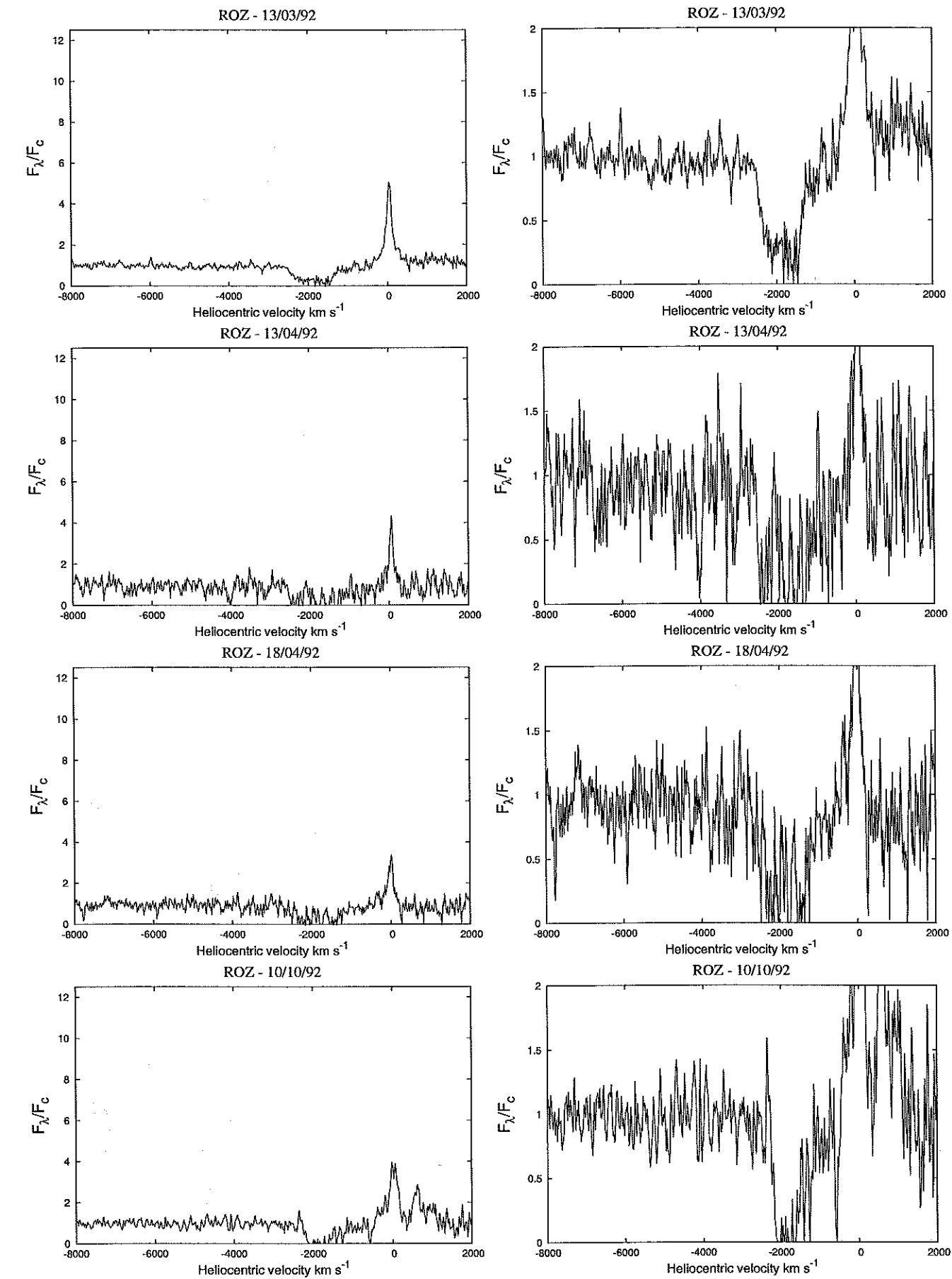
Rysunek 5.2: Atlas widmowy linii $H\beta$

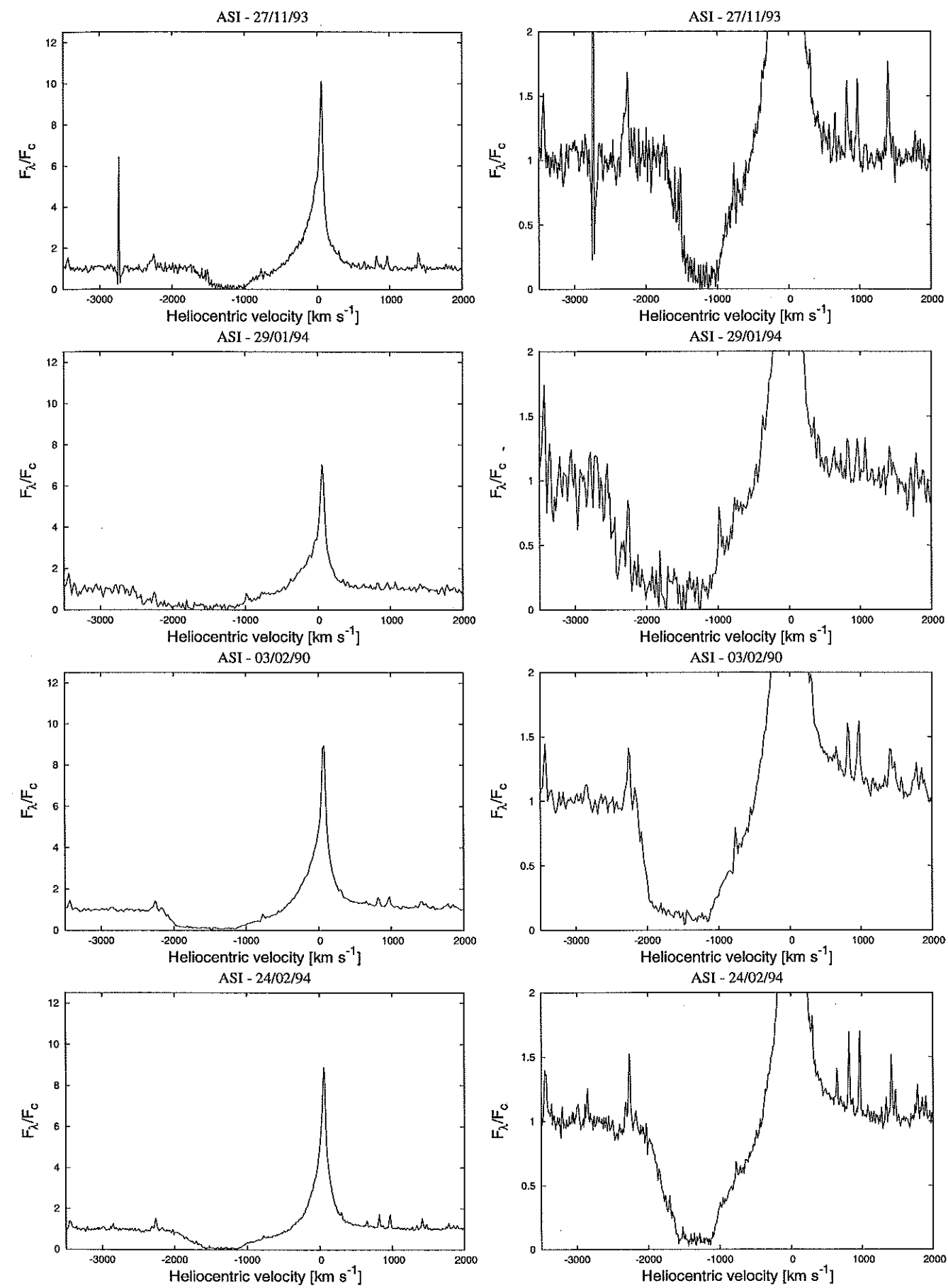
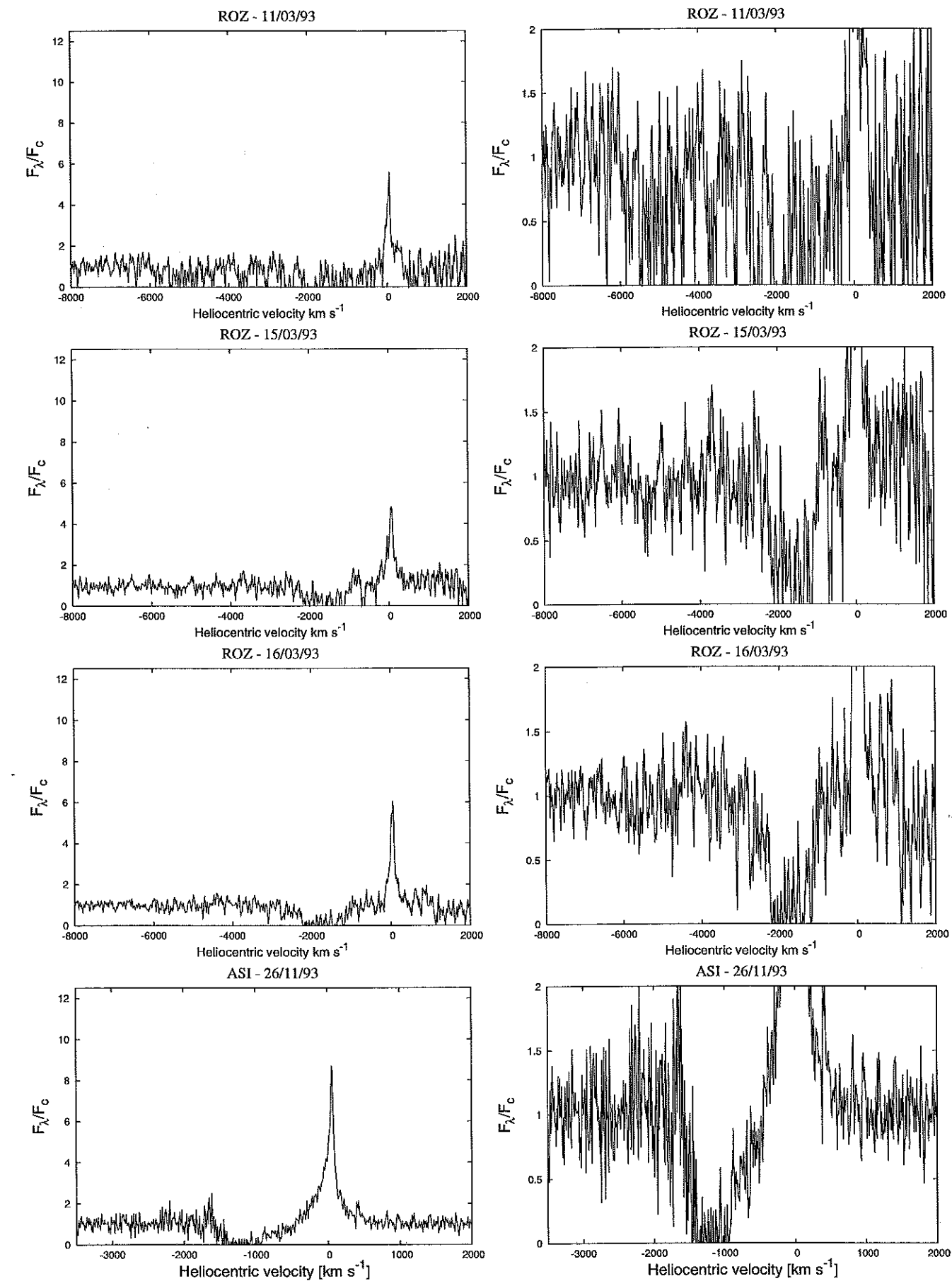


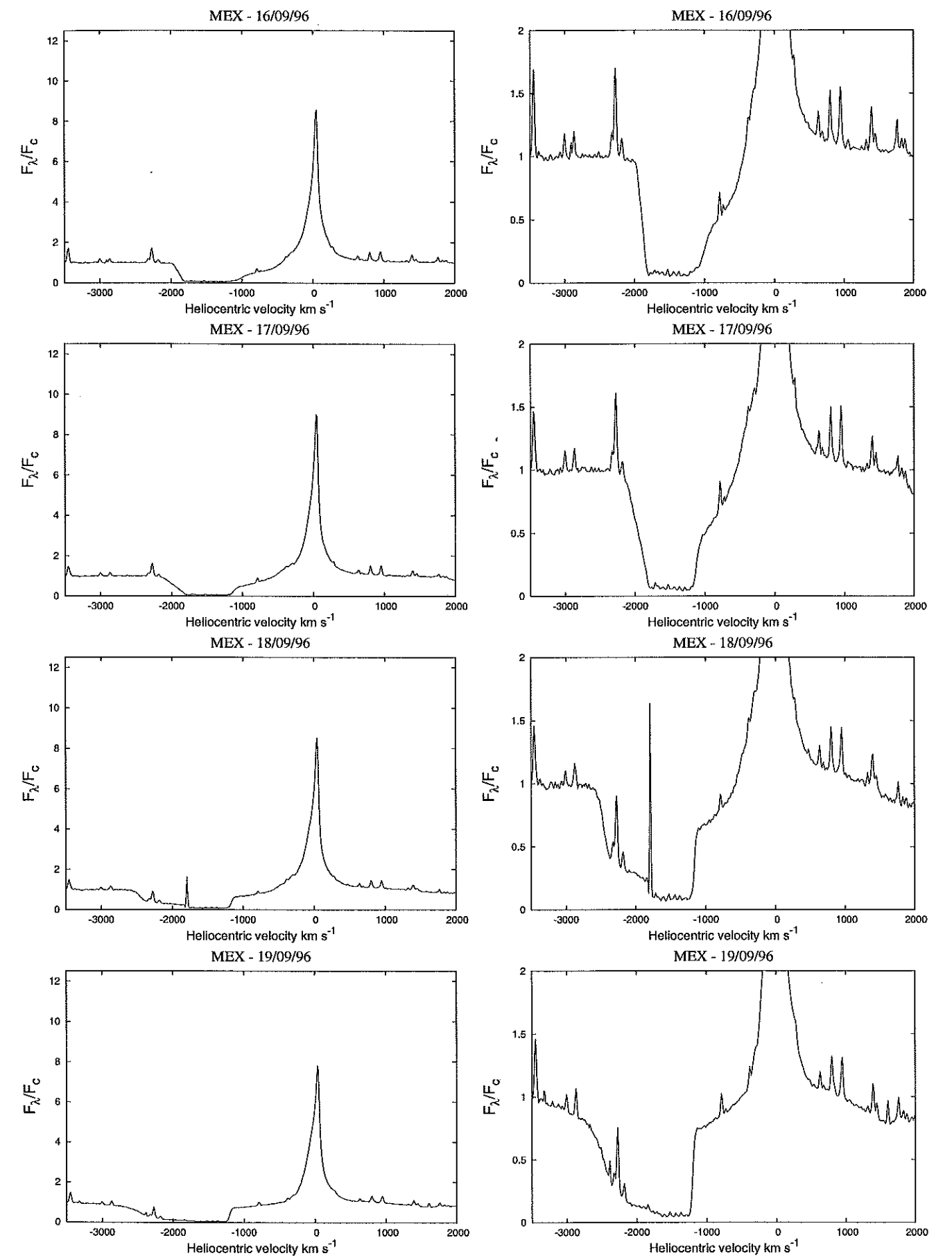
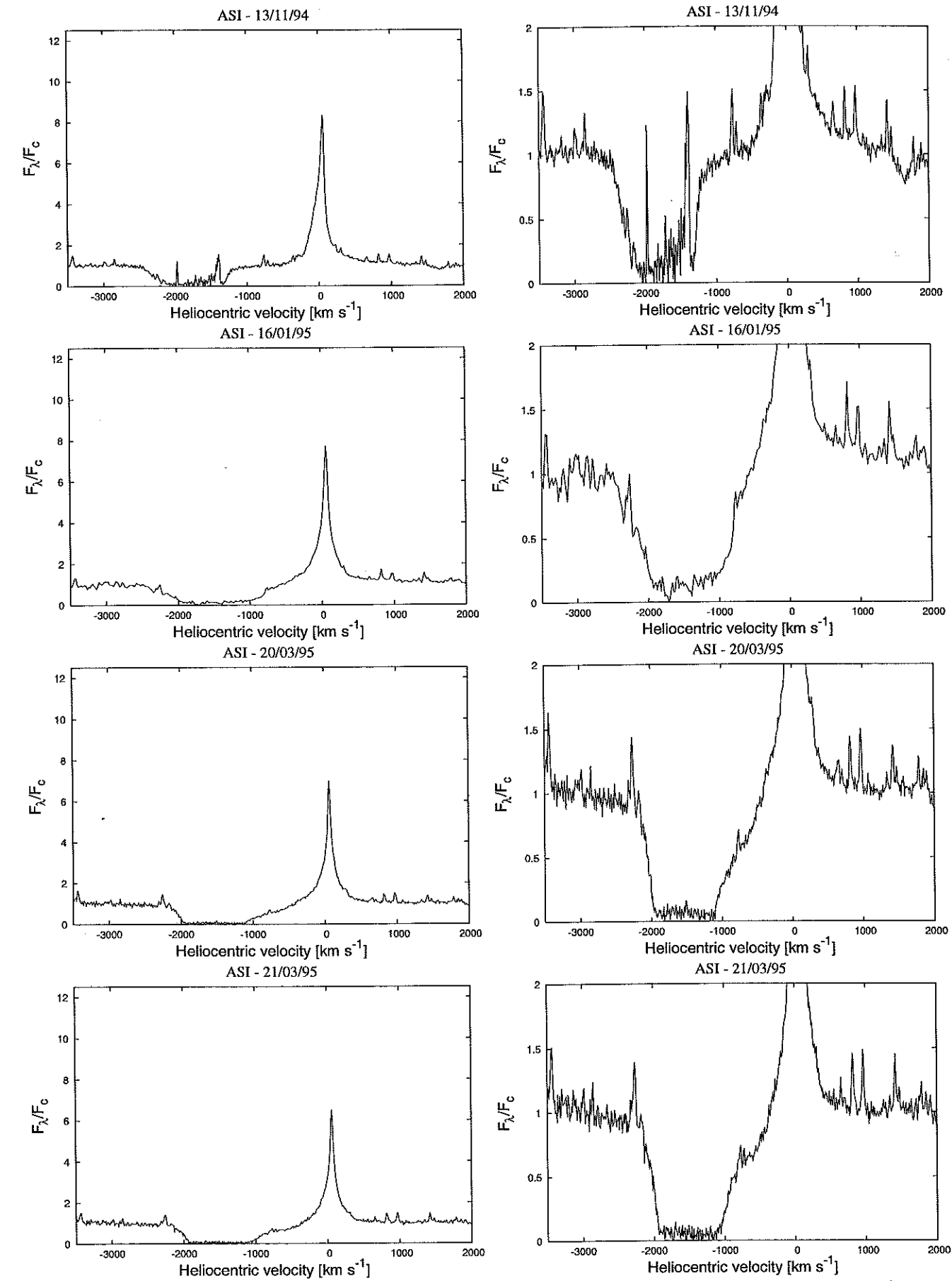


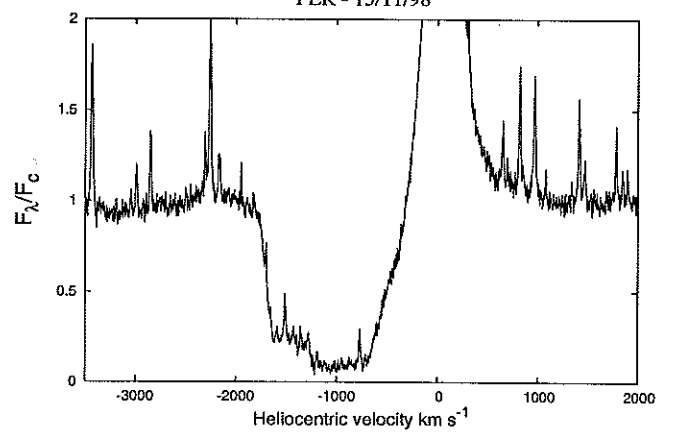
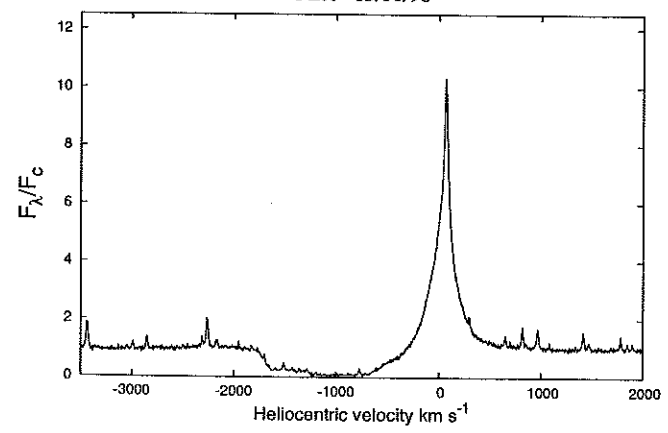
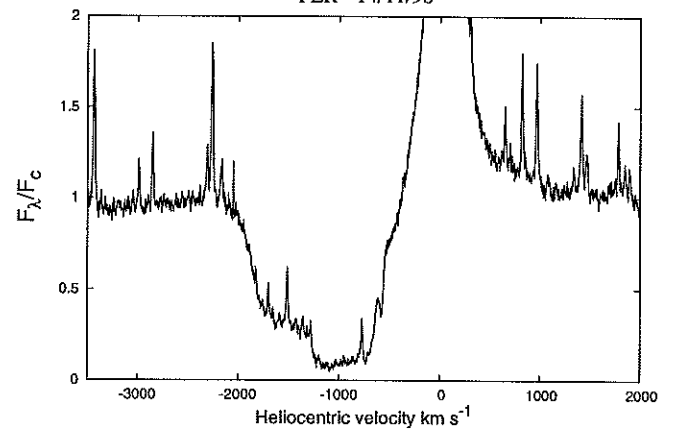
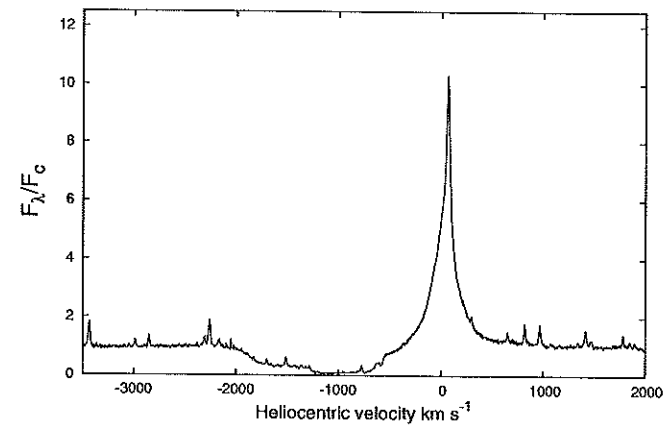
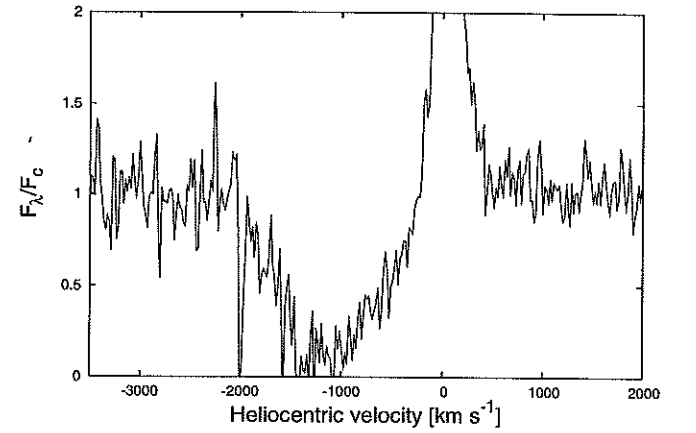
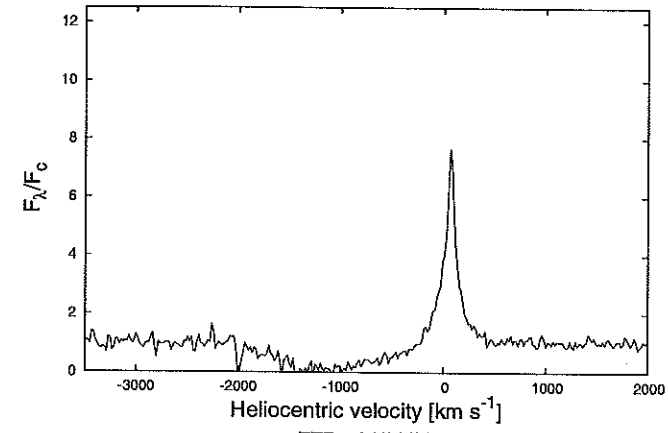
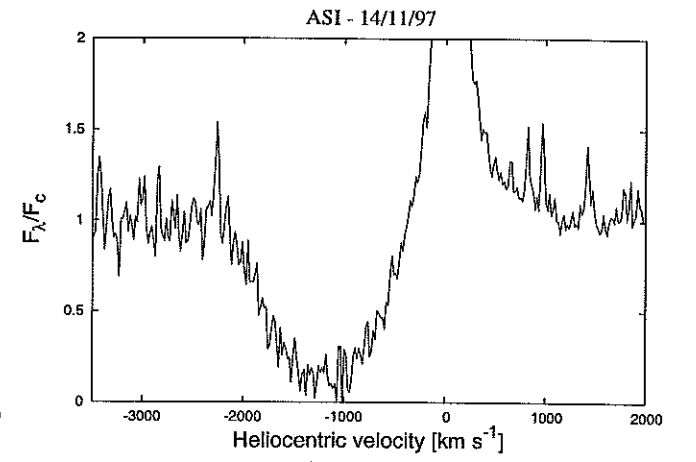
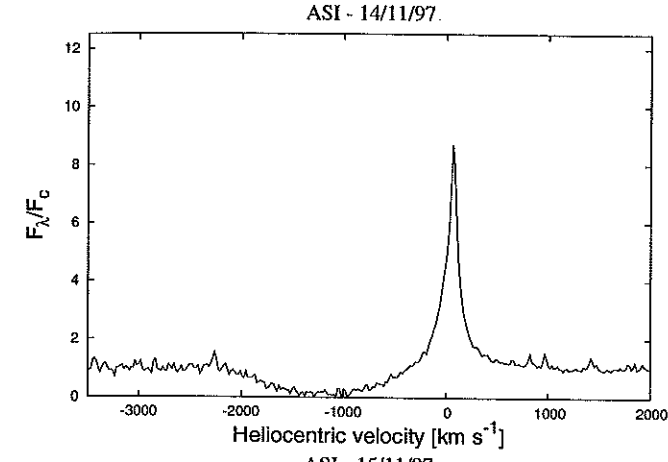
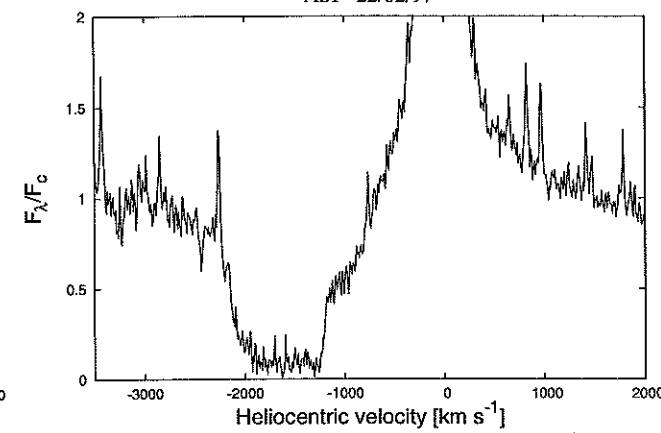
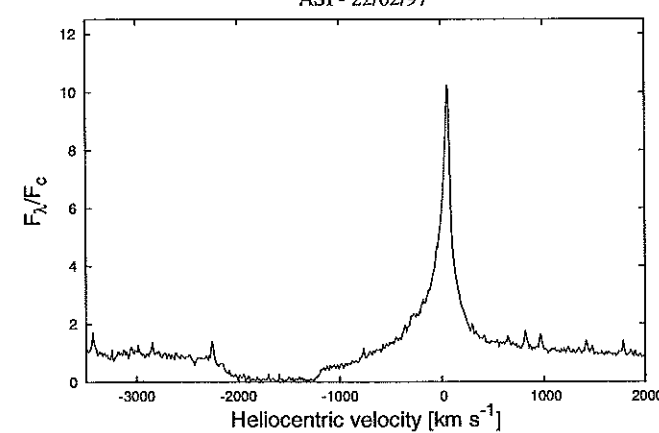
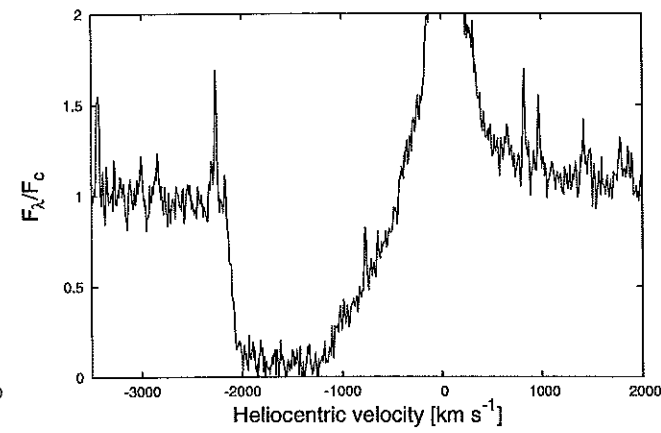
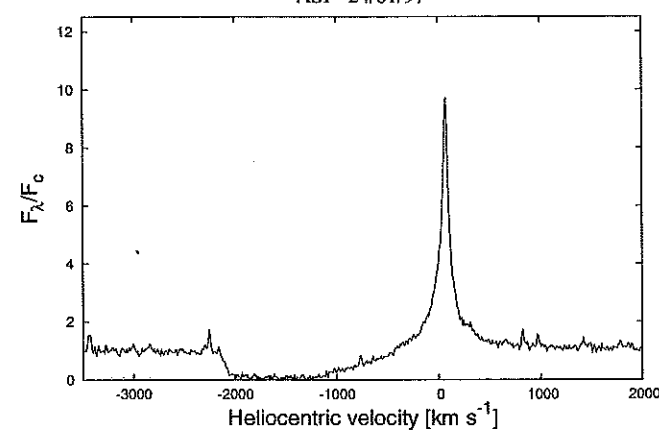
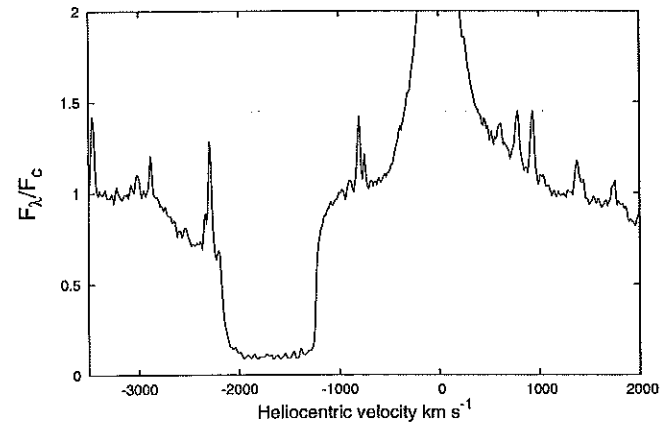
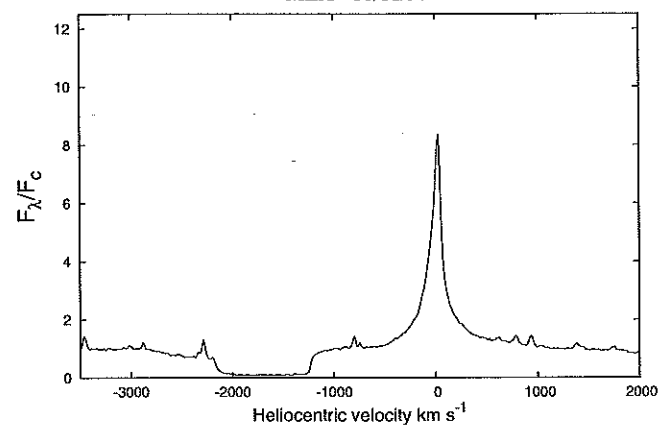
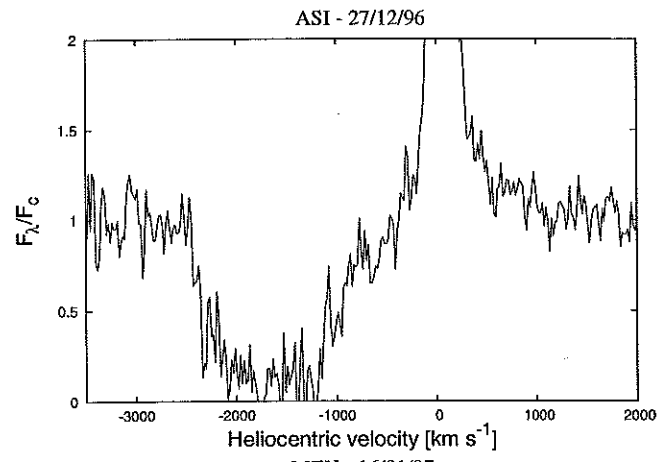
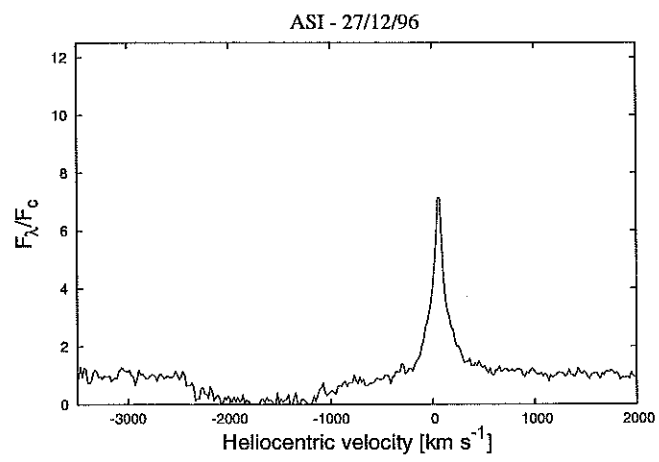


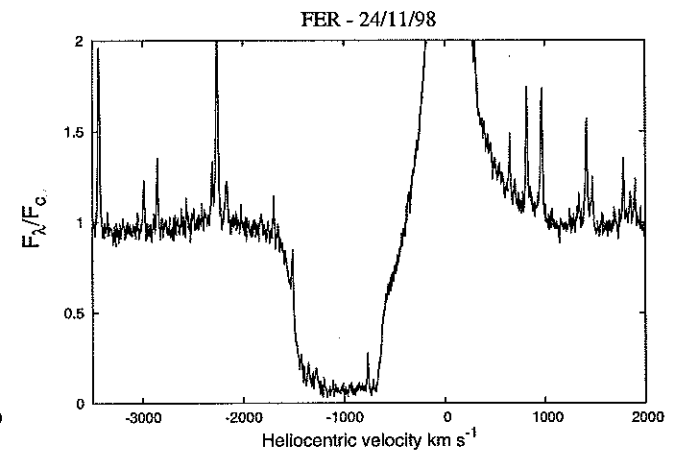
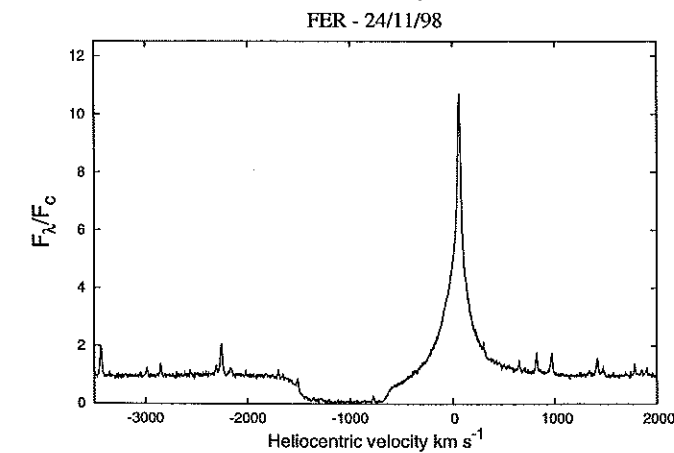
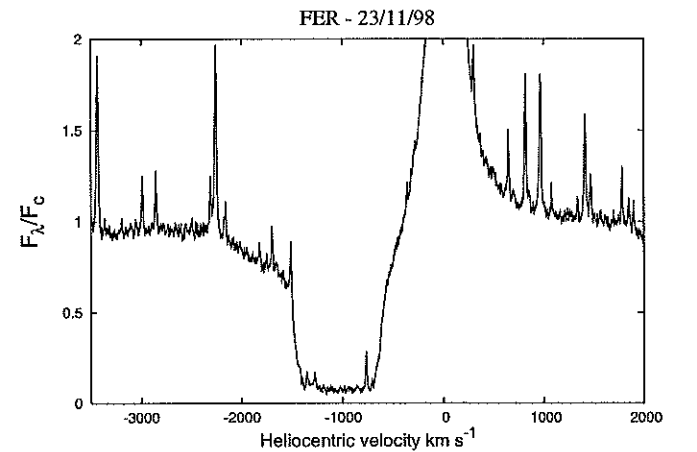
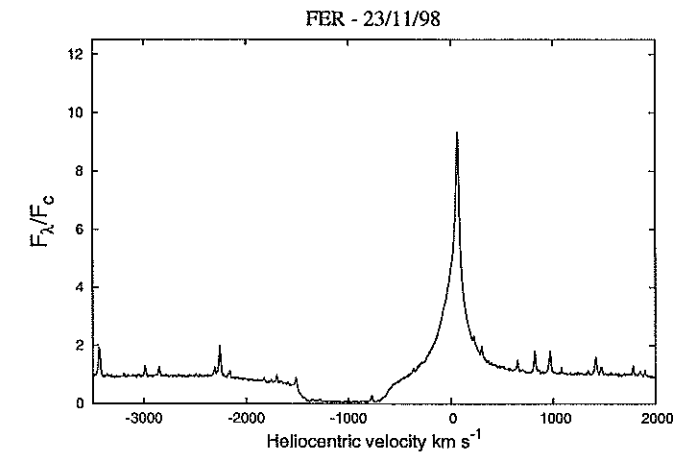
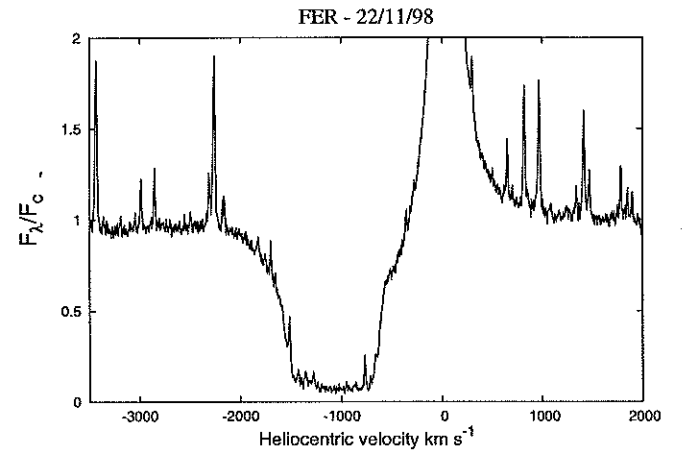
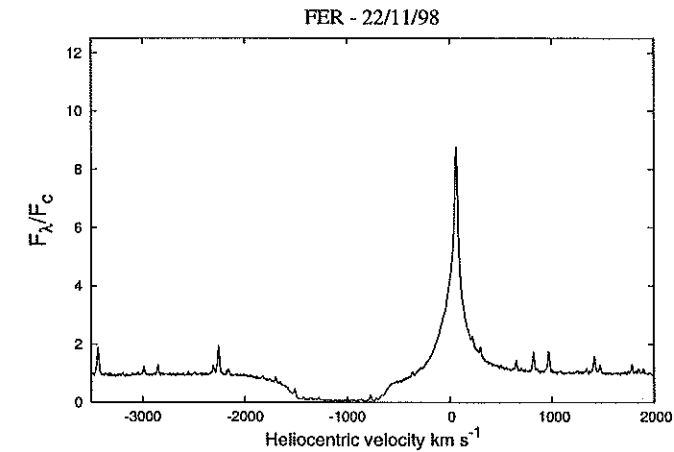
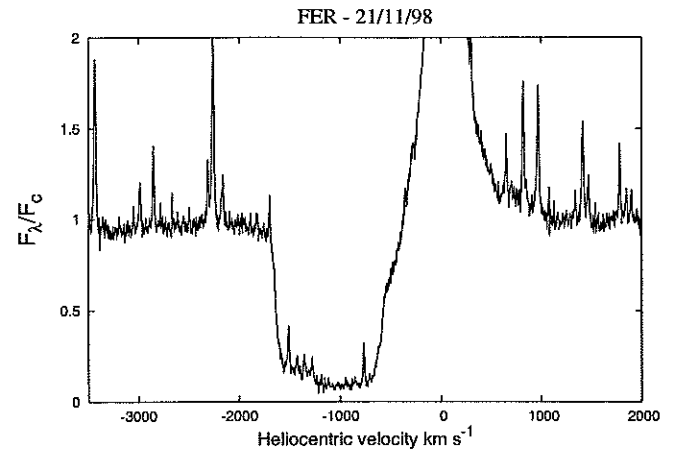
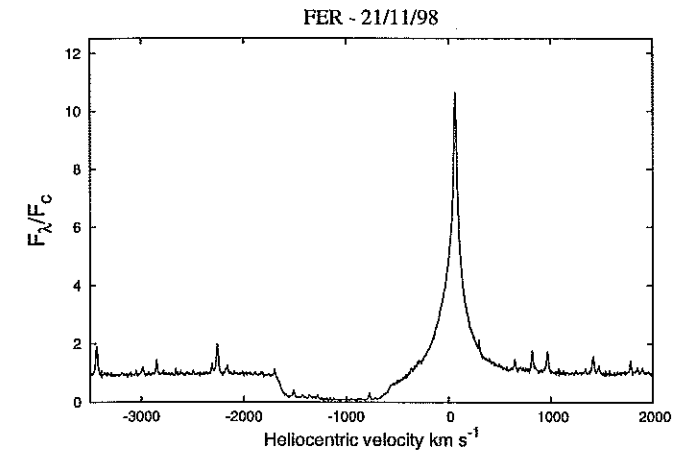
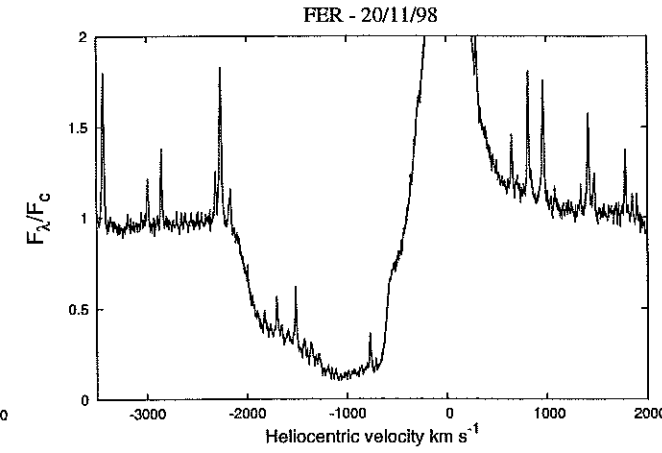
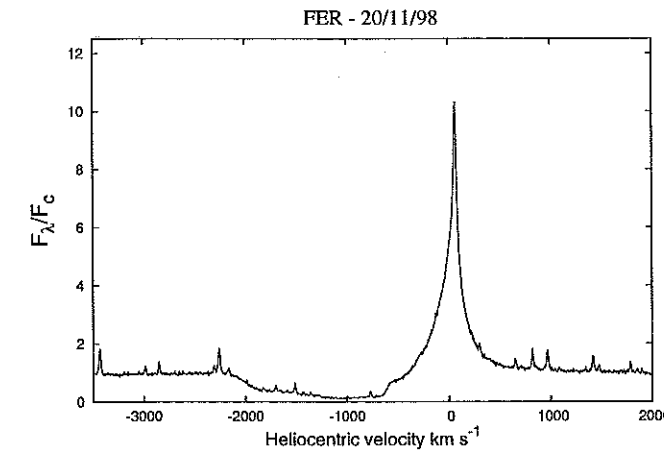
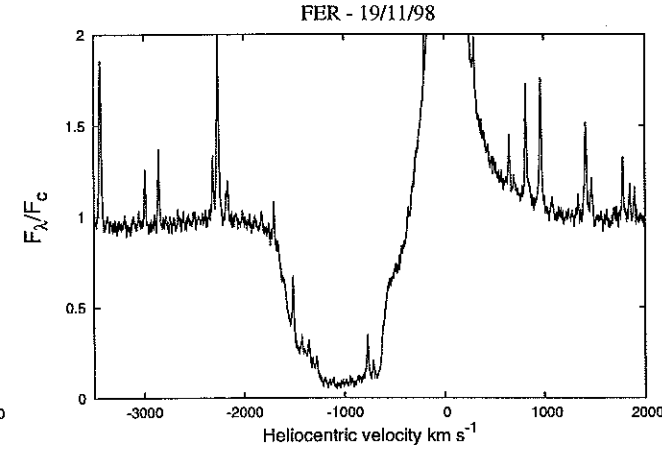
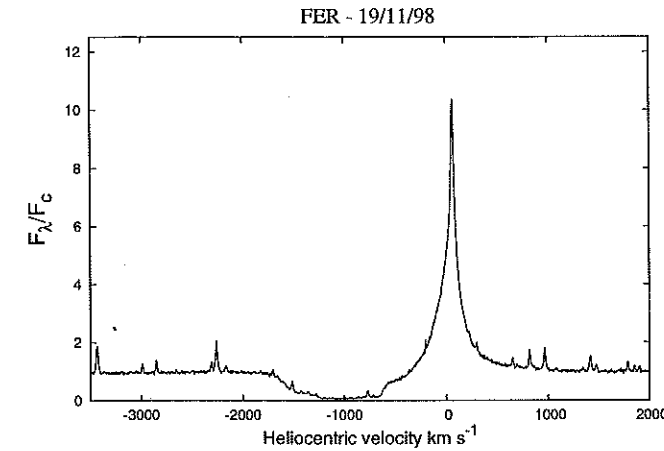
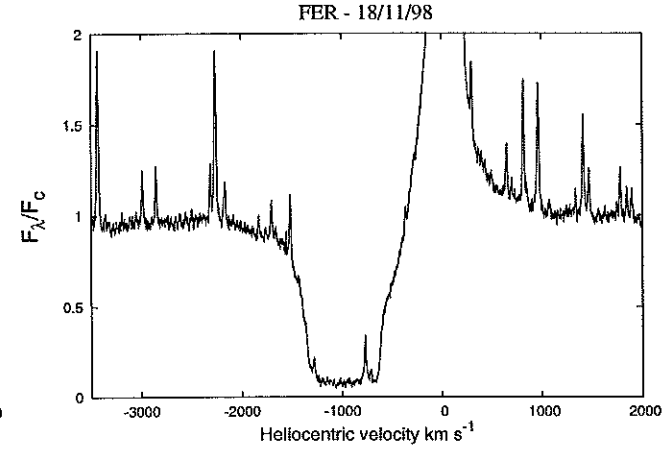
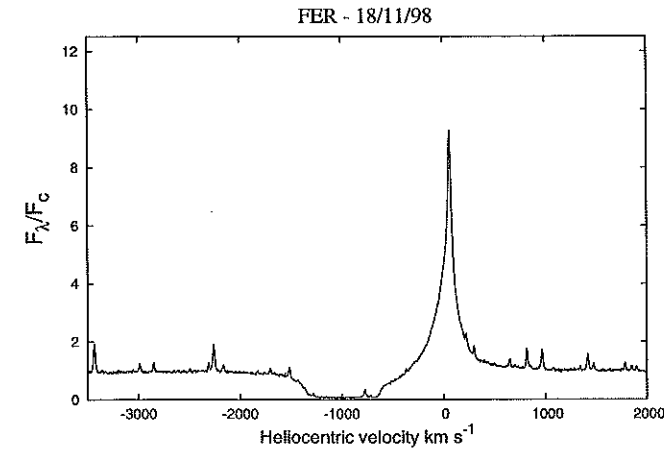
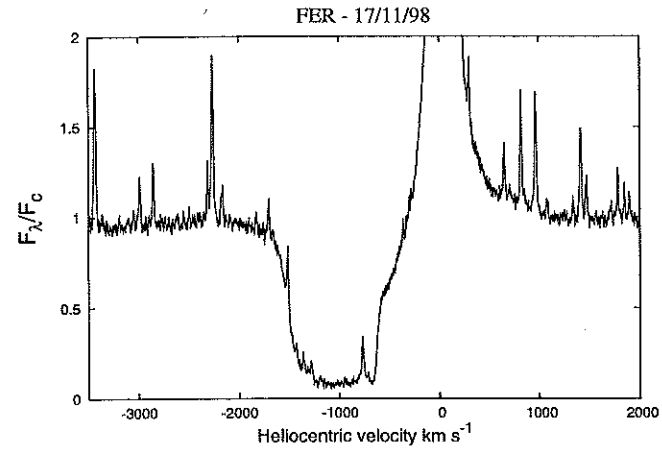
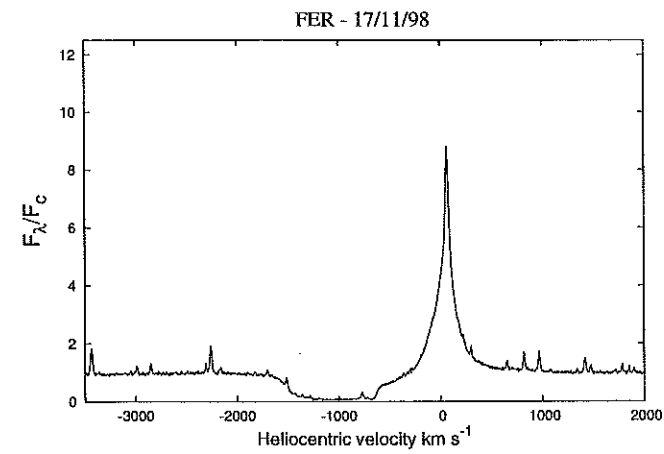


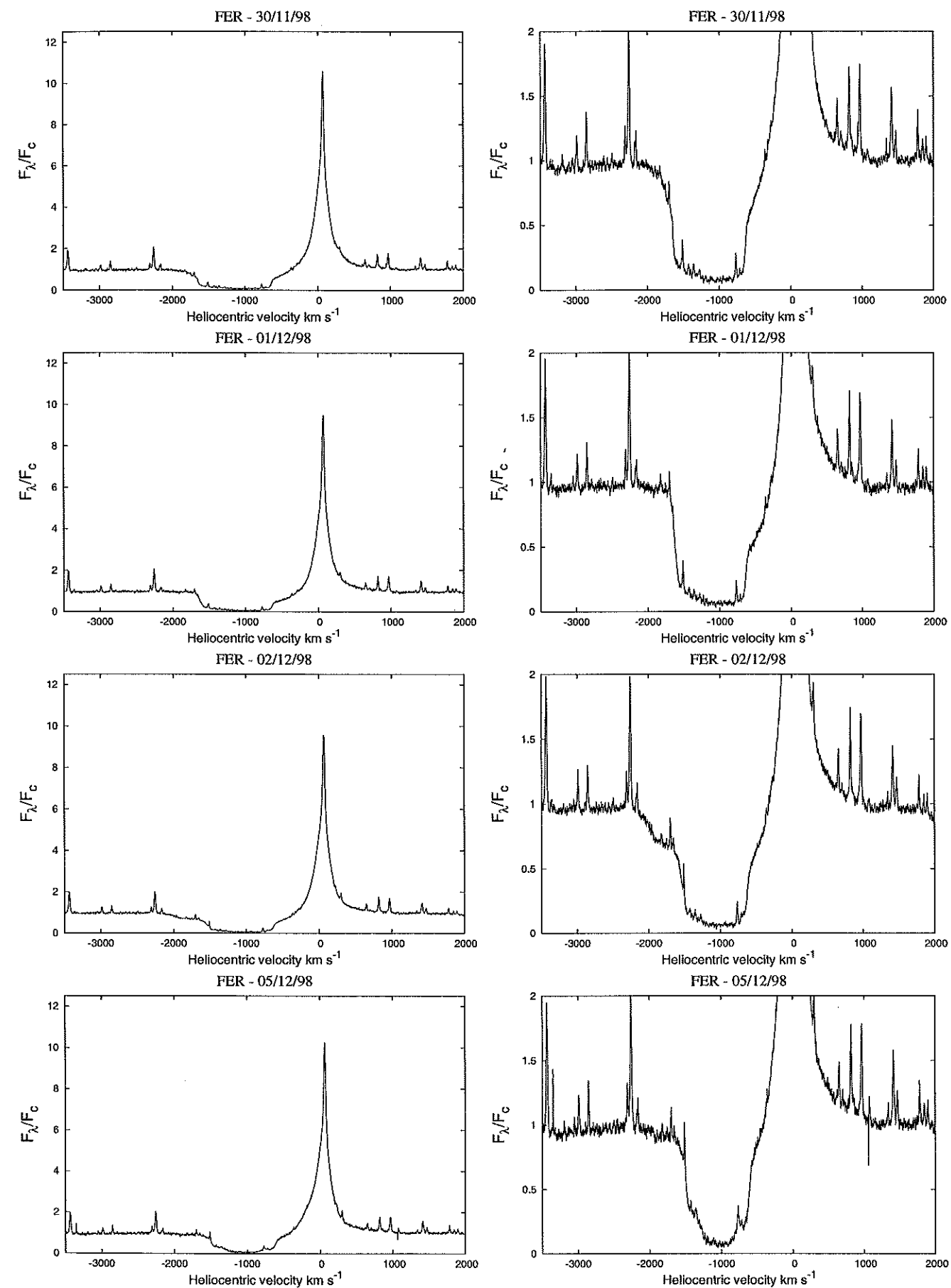
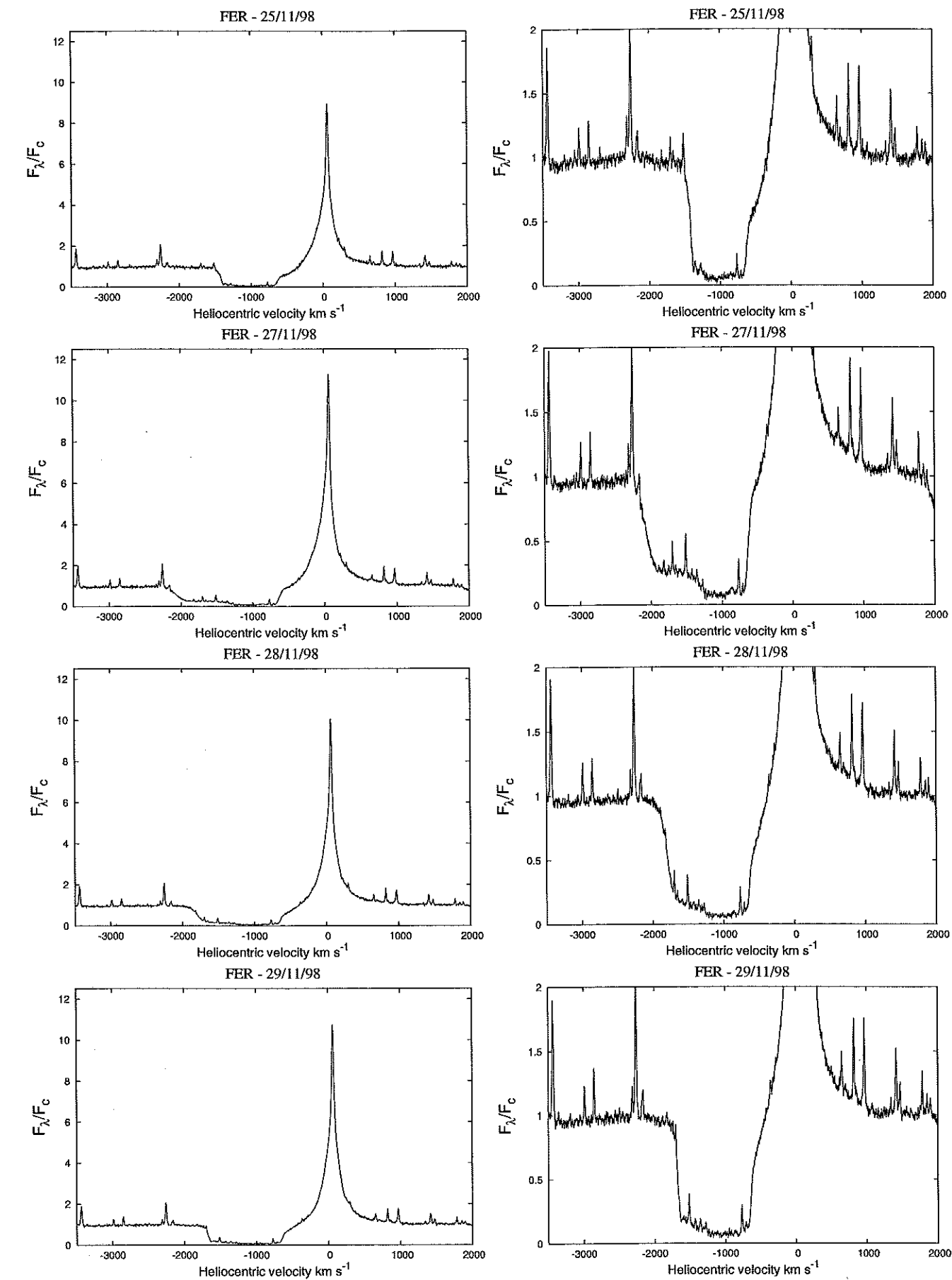


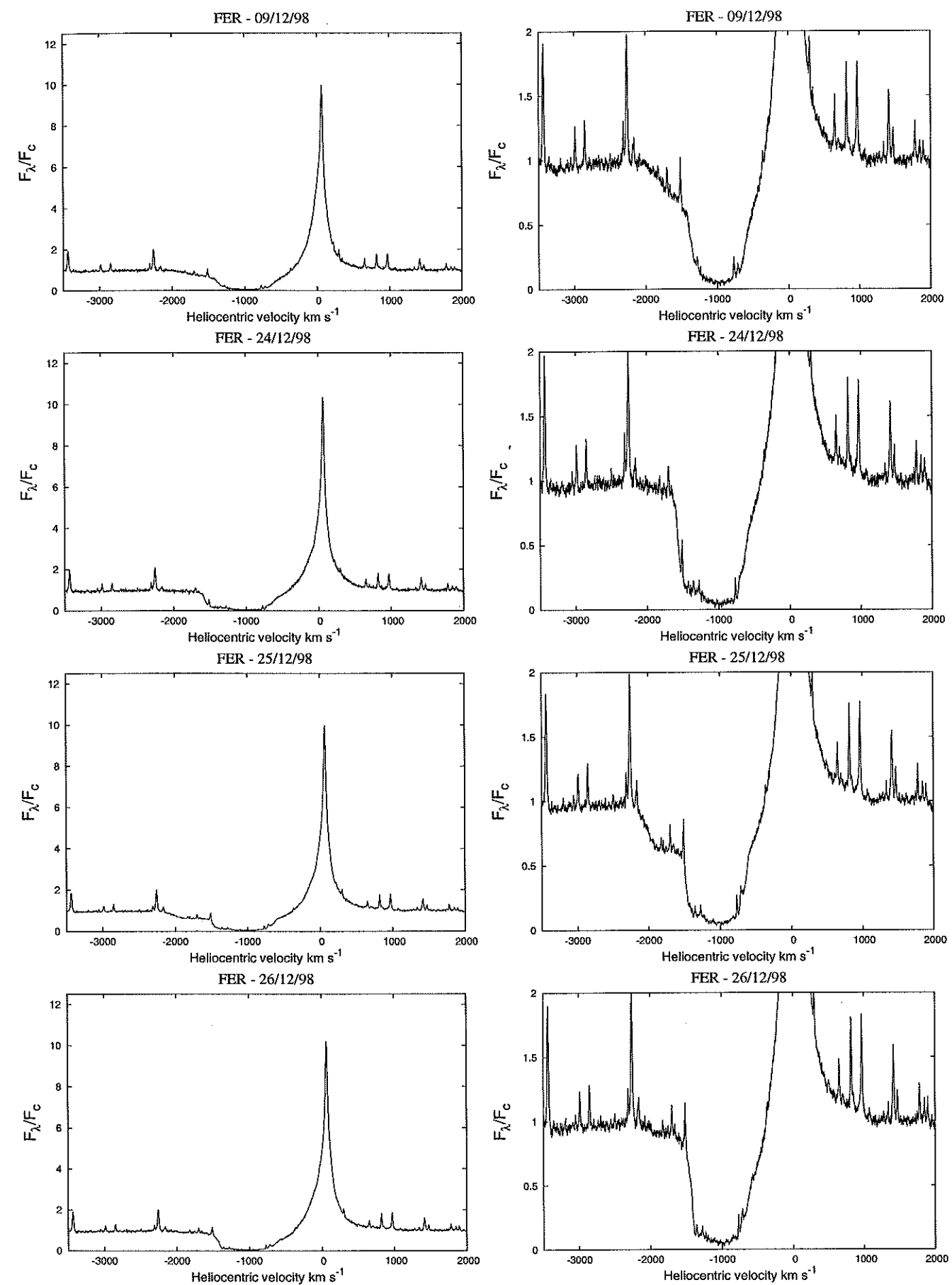
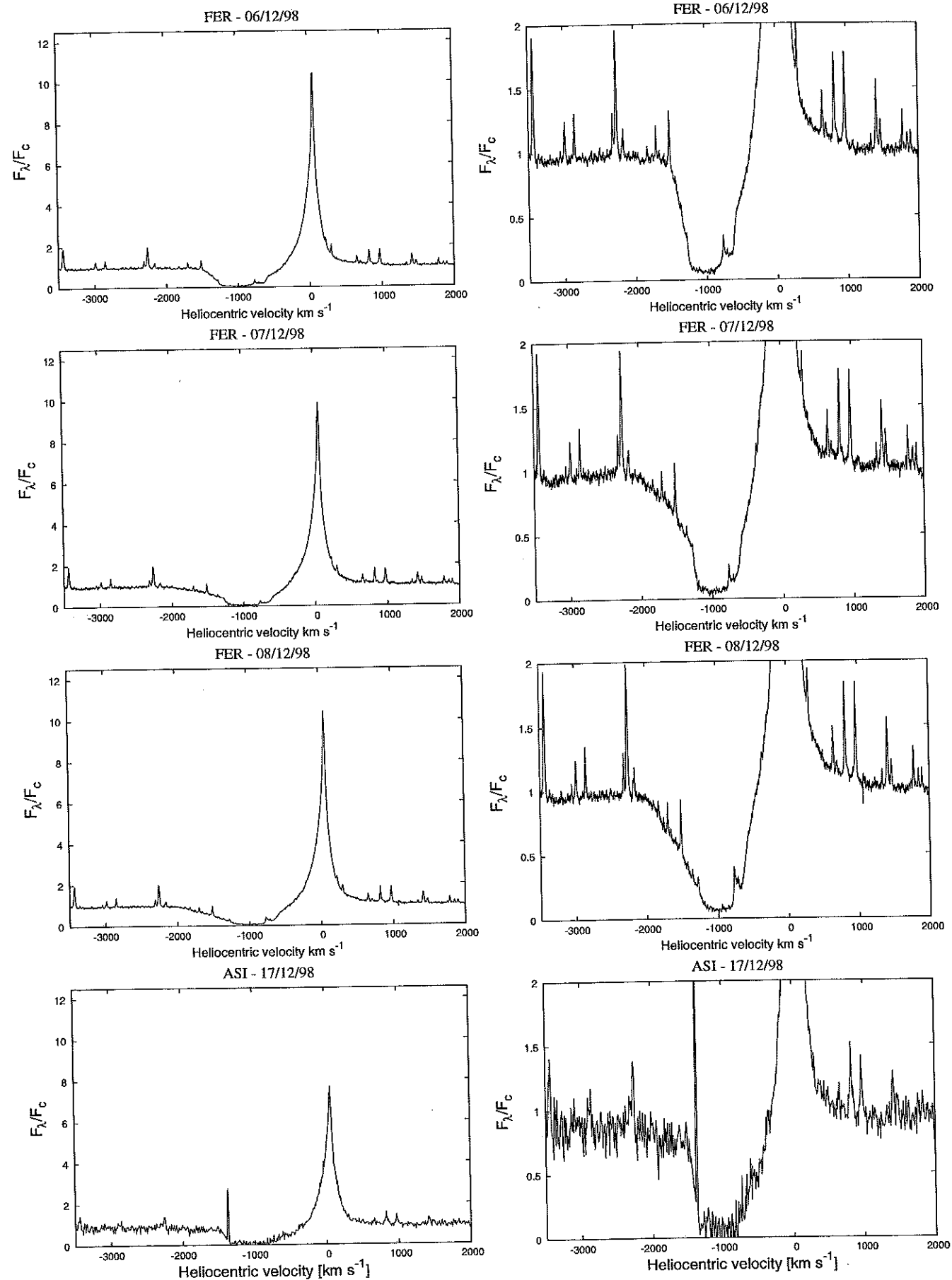


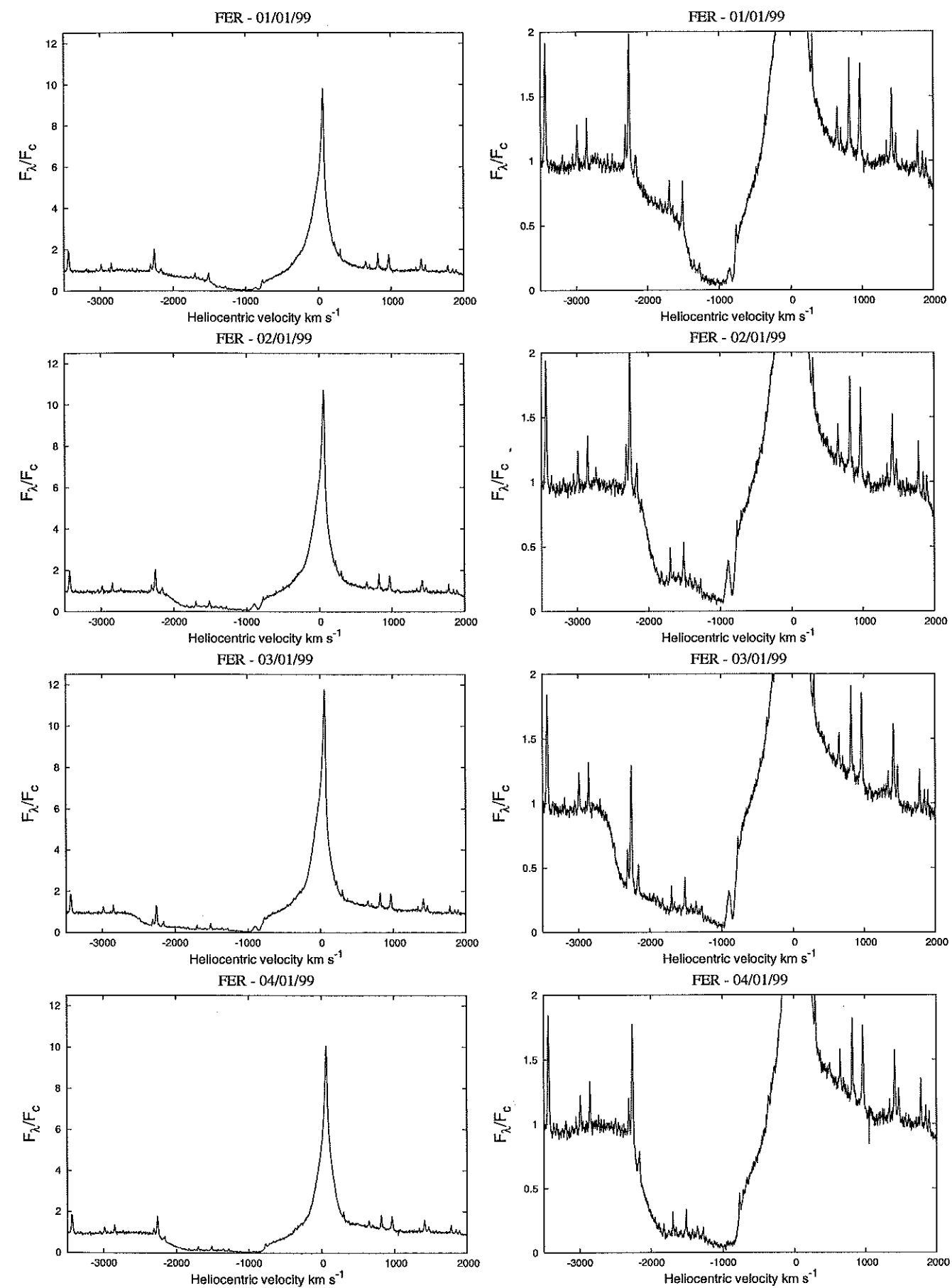
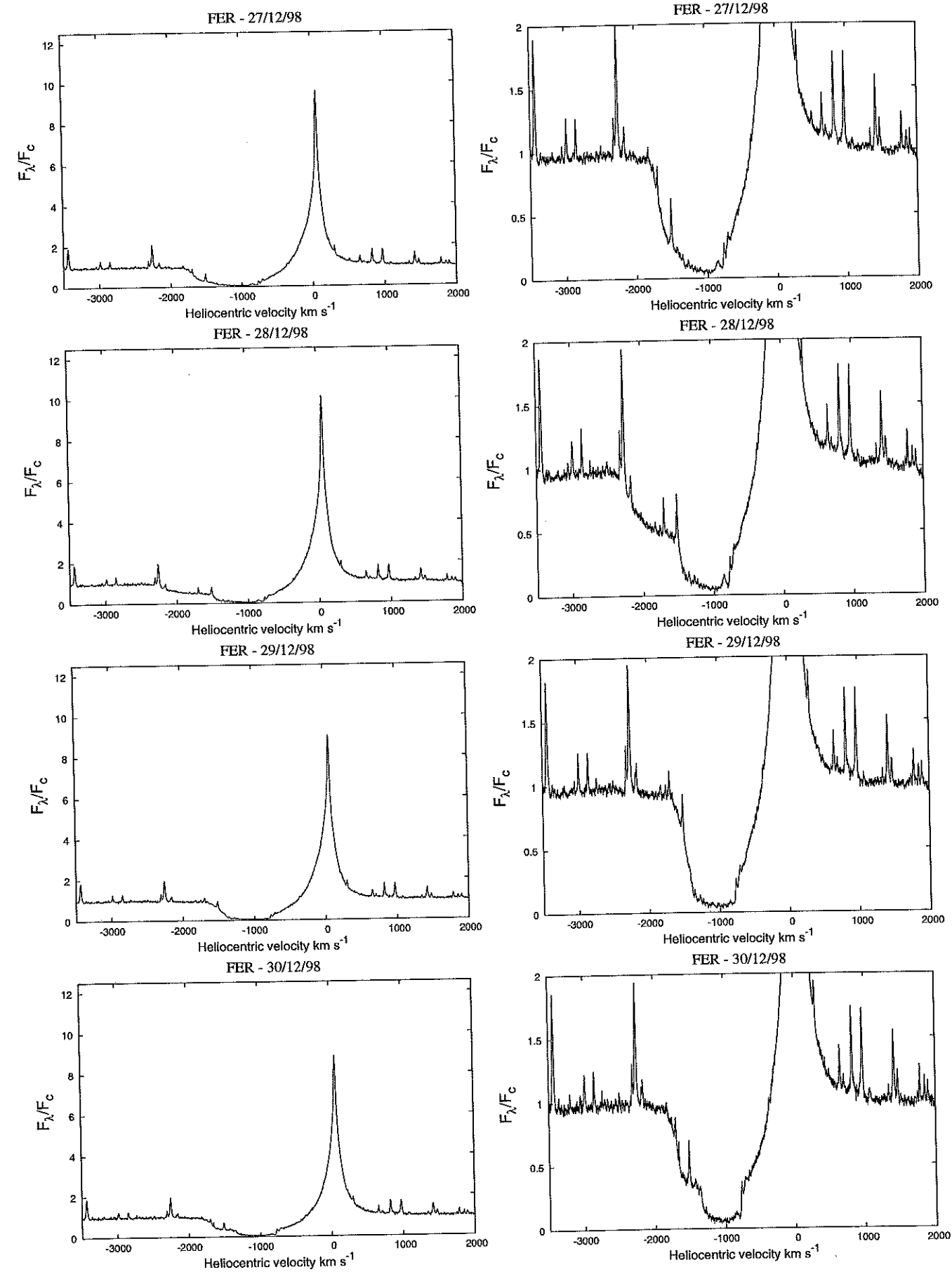


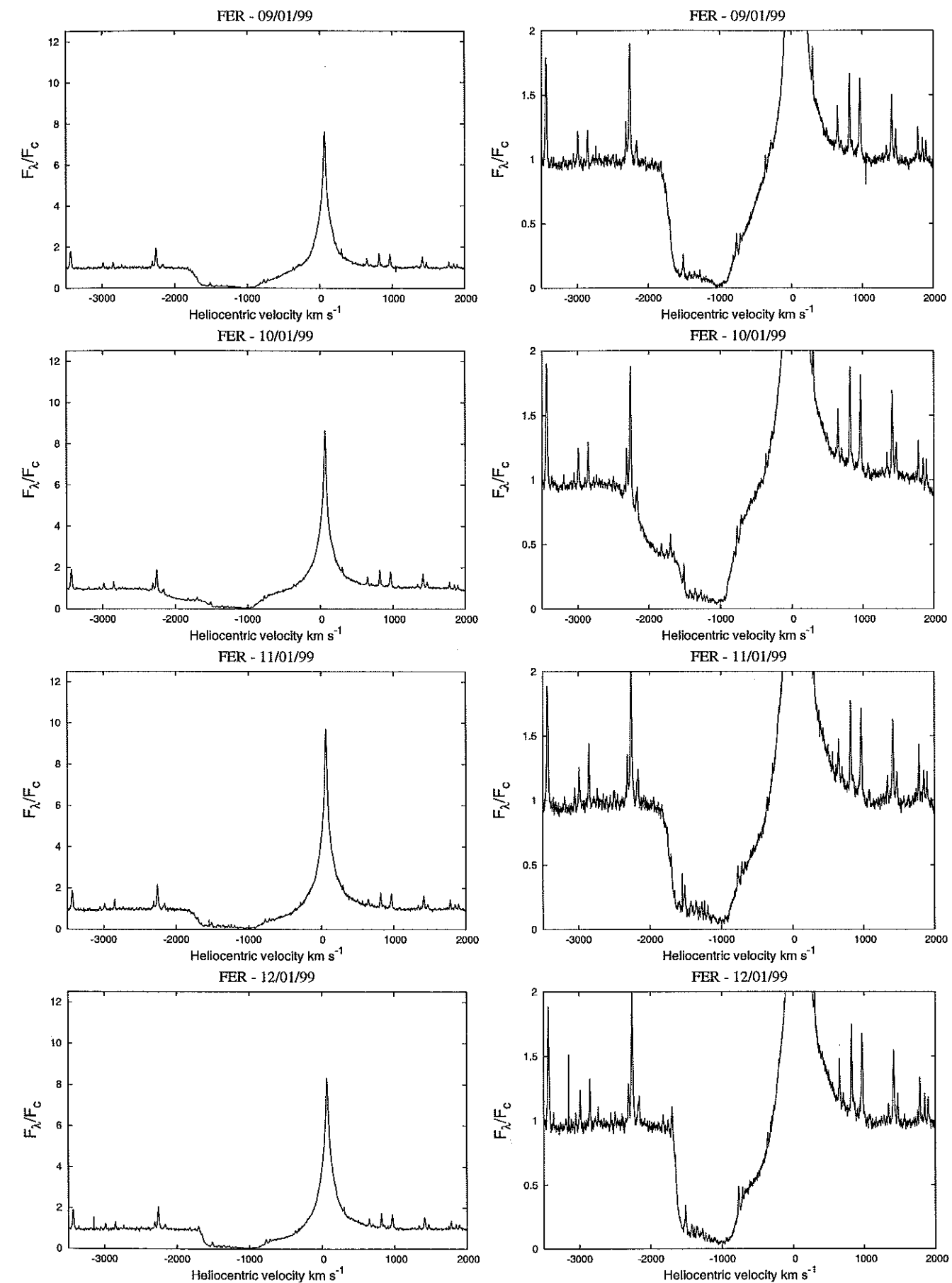
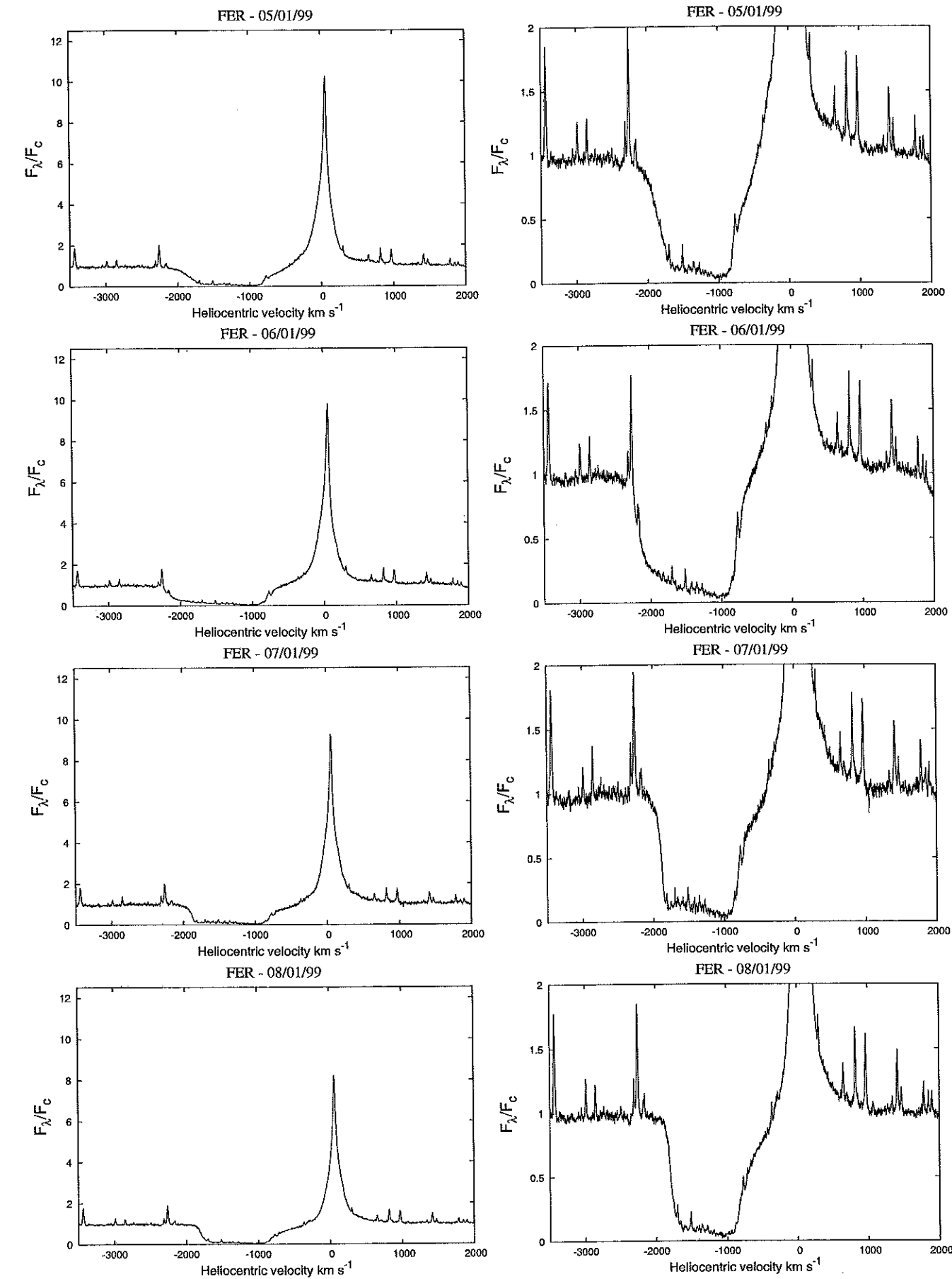


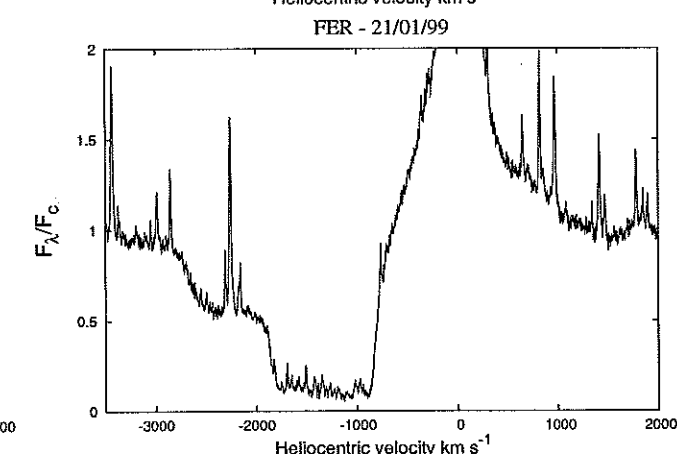
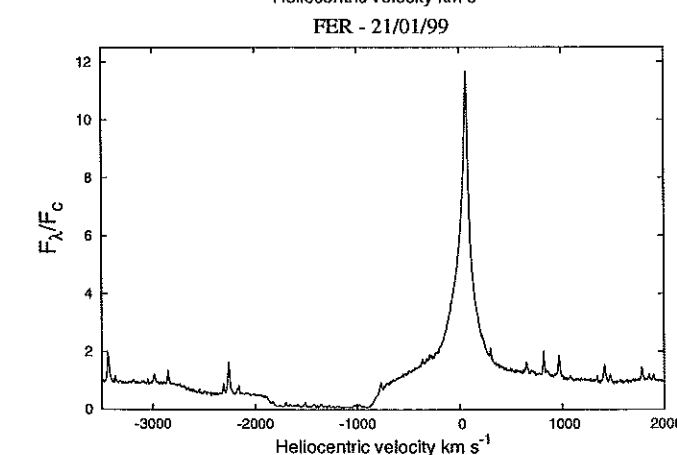
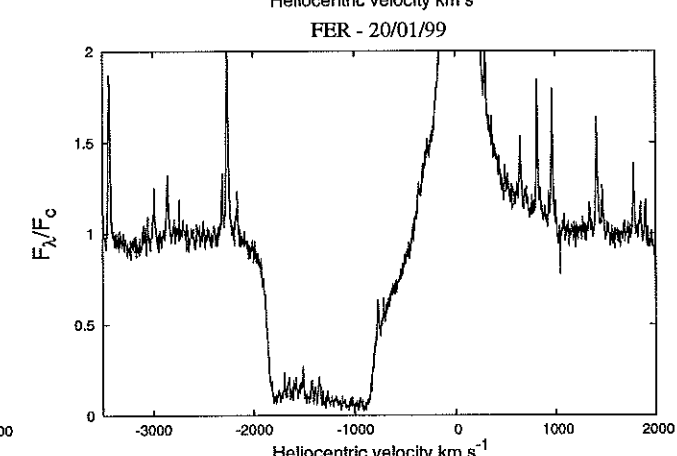
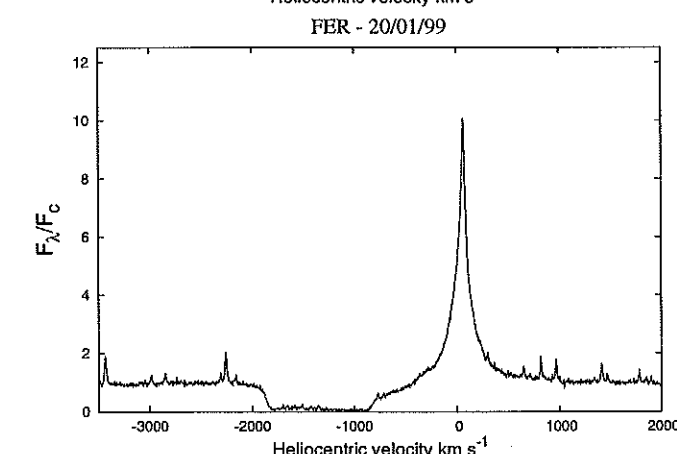
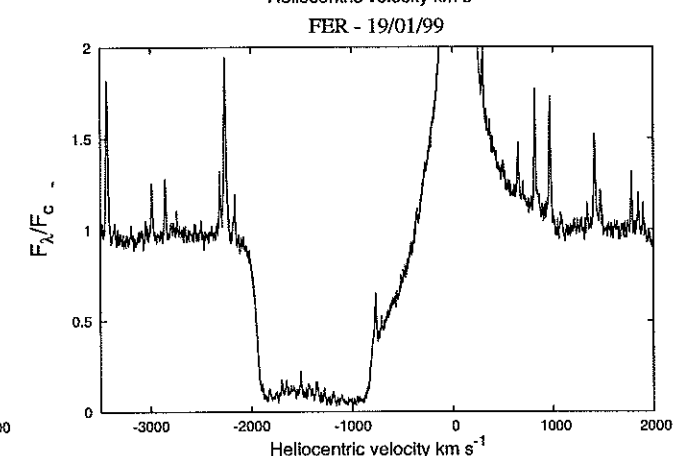
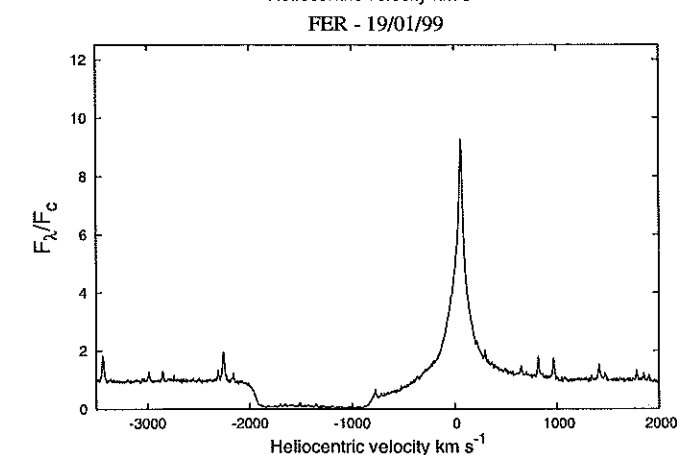
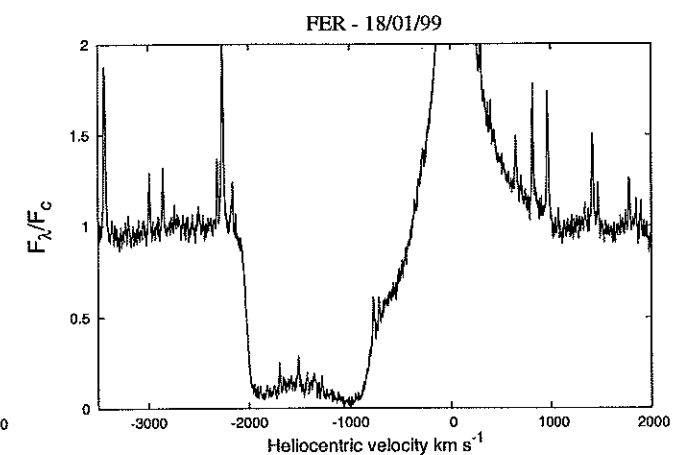
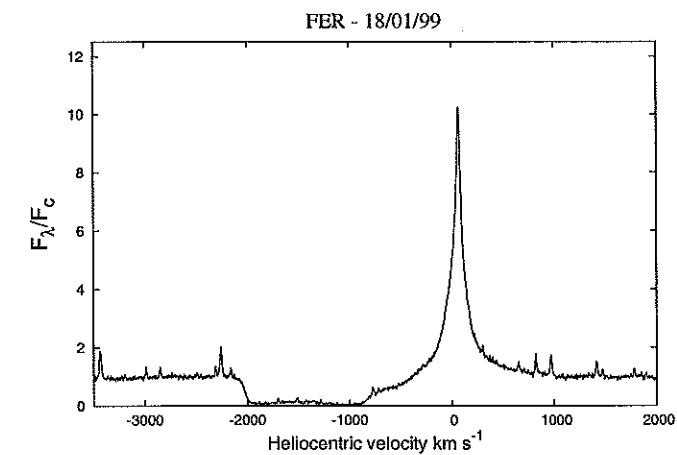
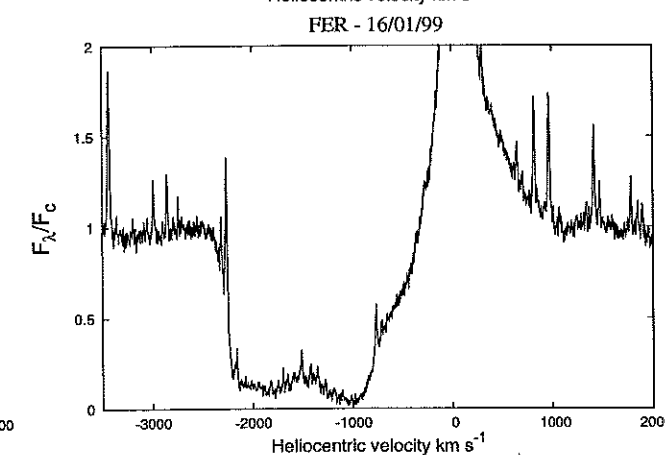
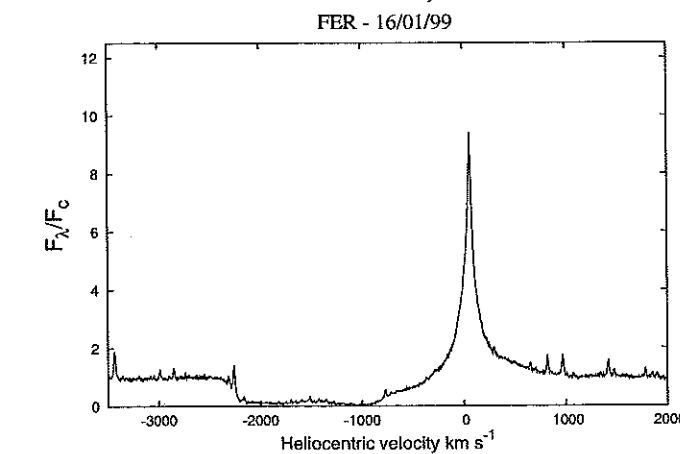
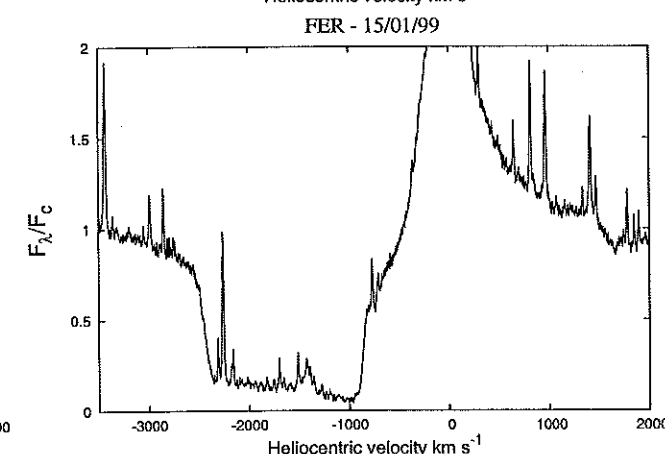
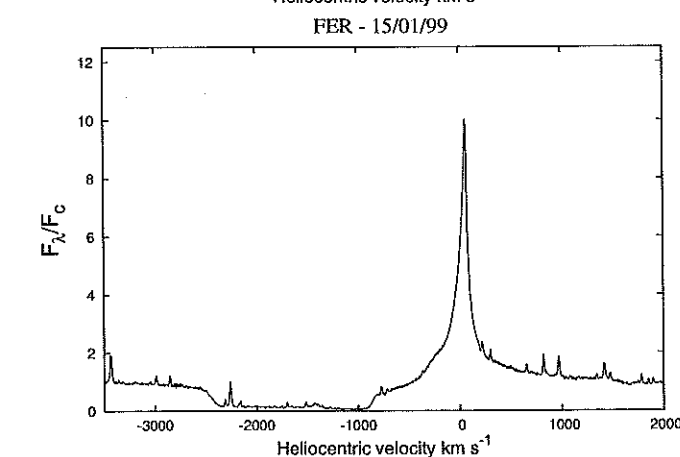
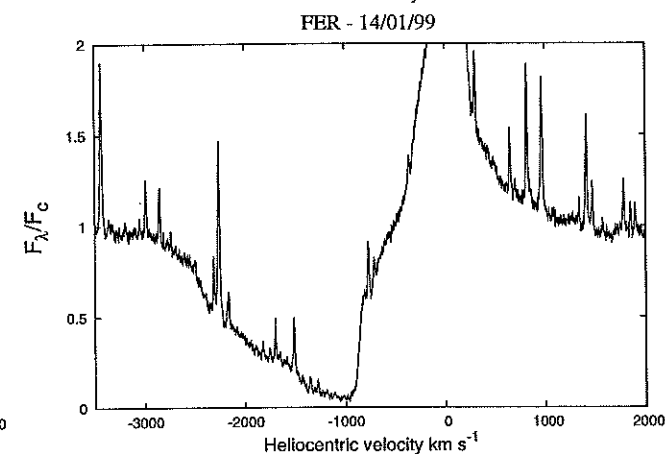
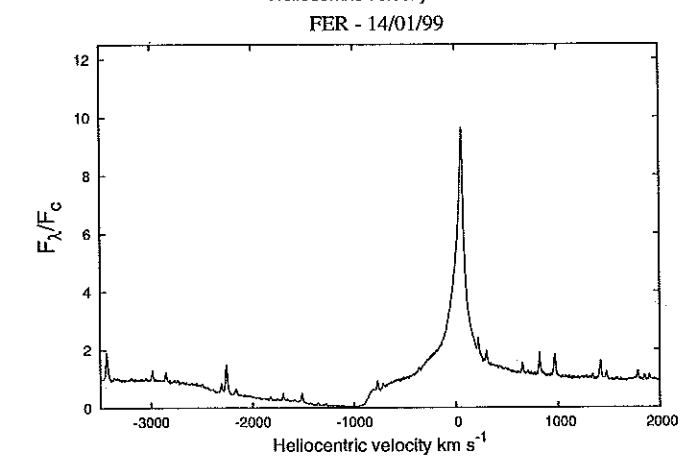
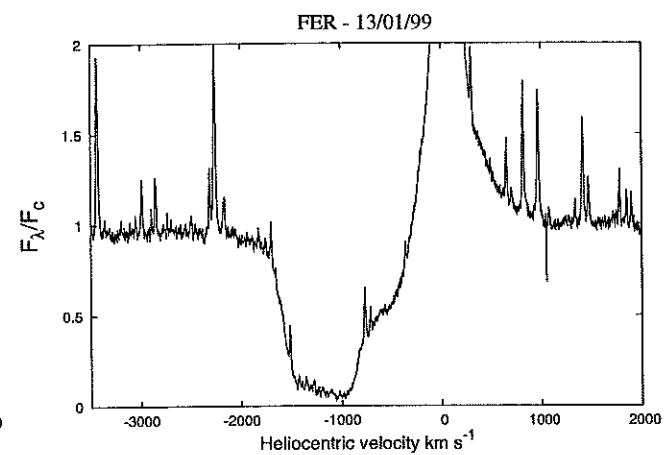
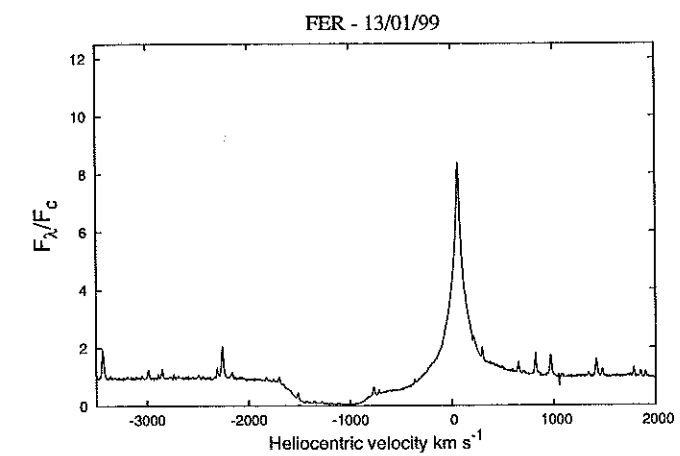


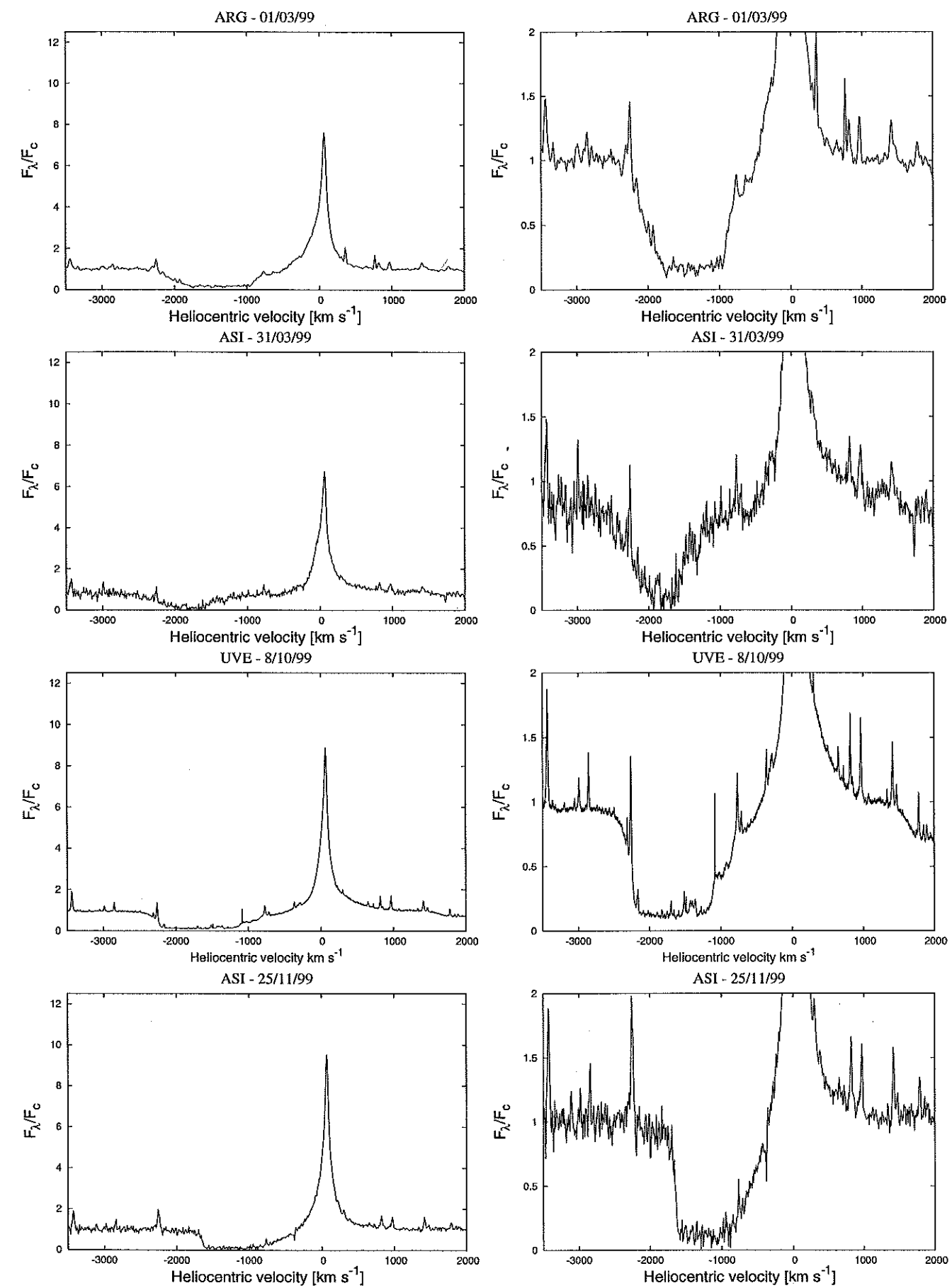
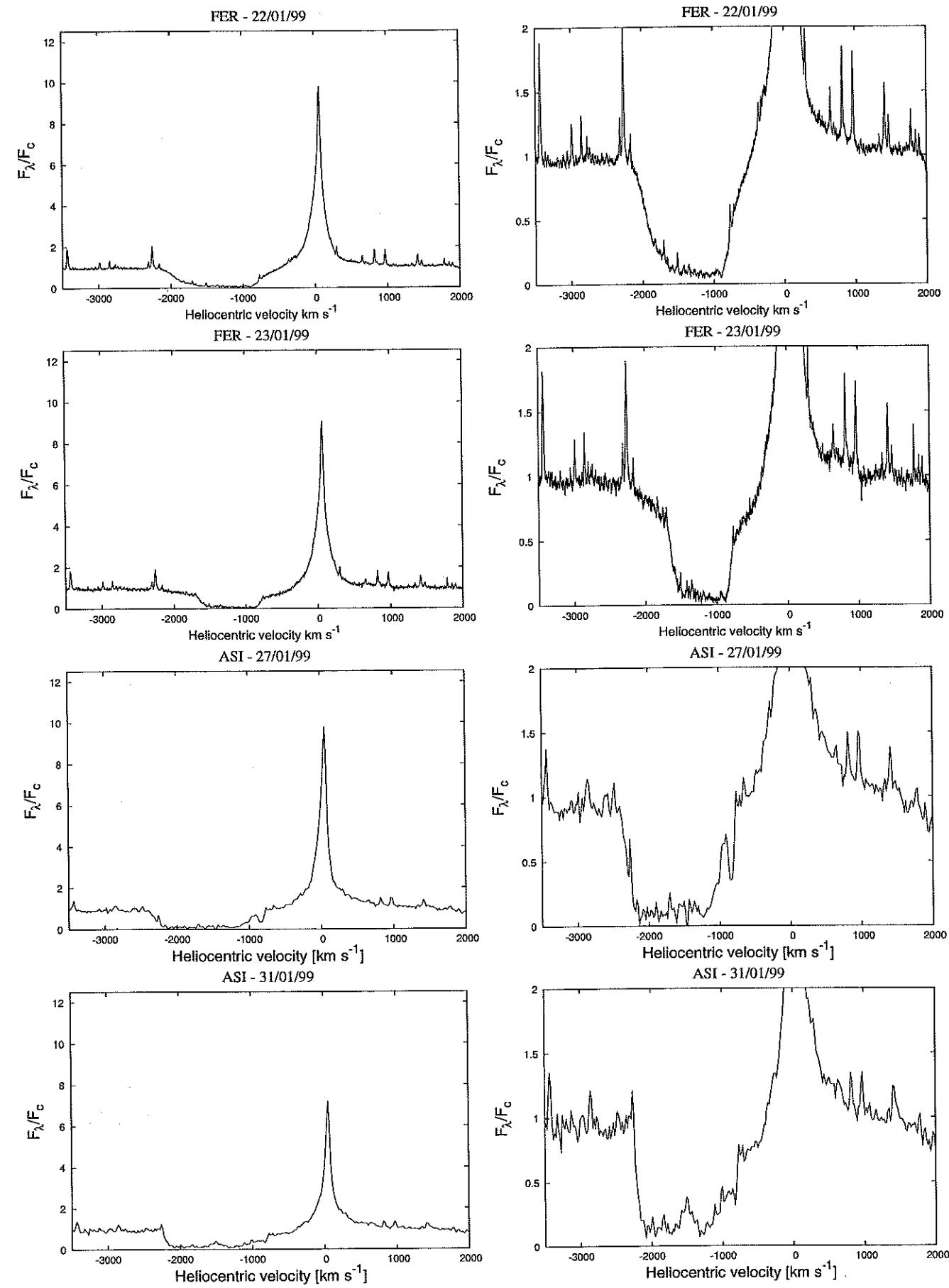


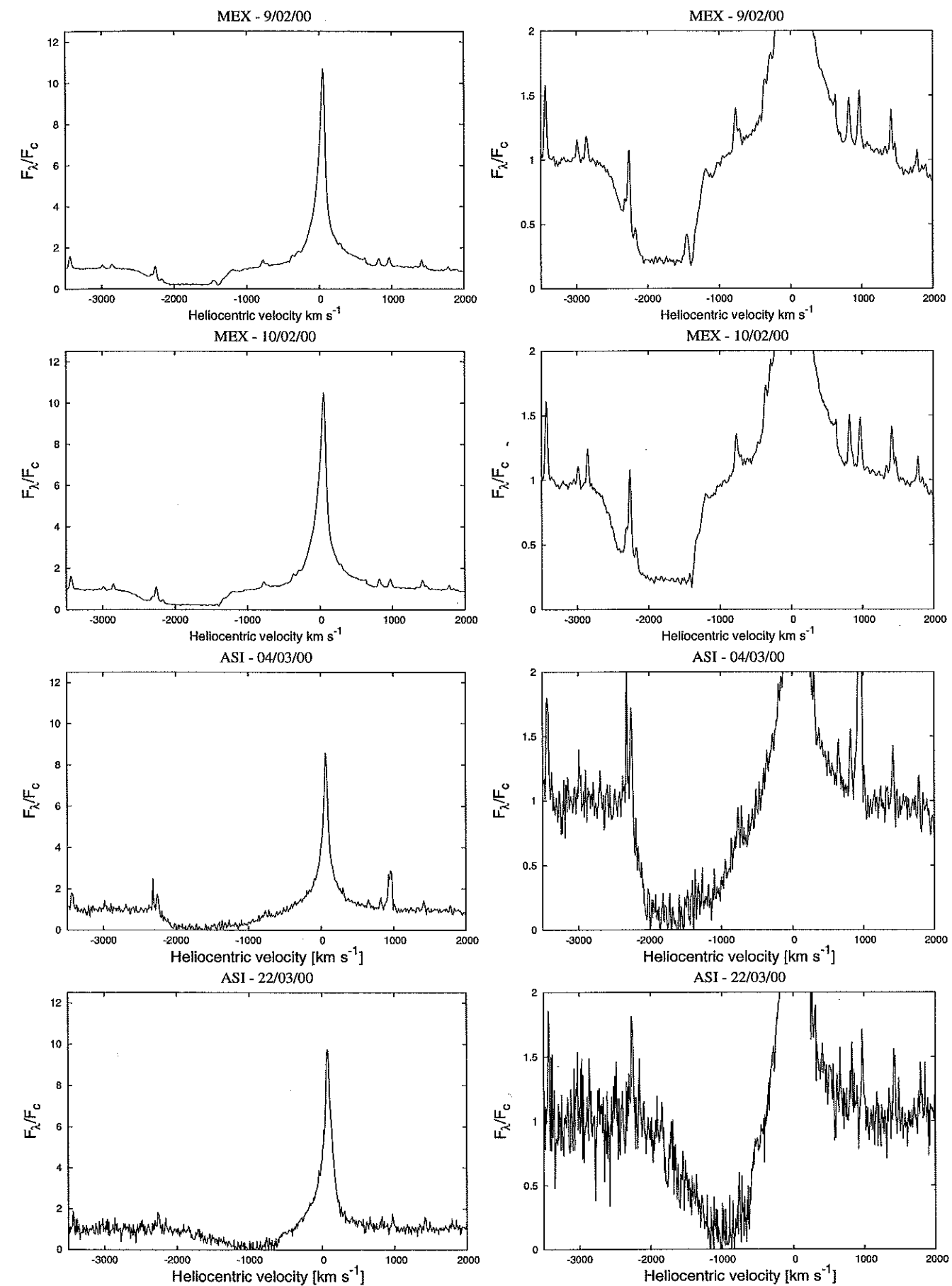
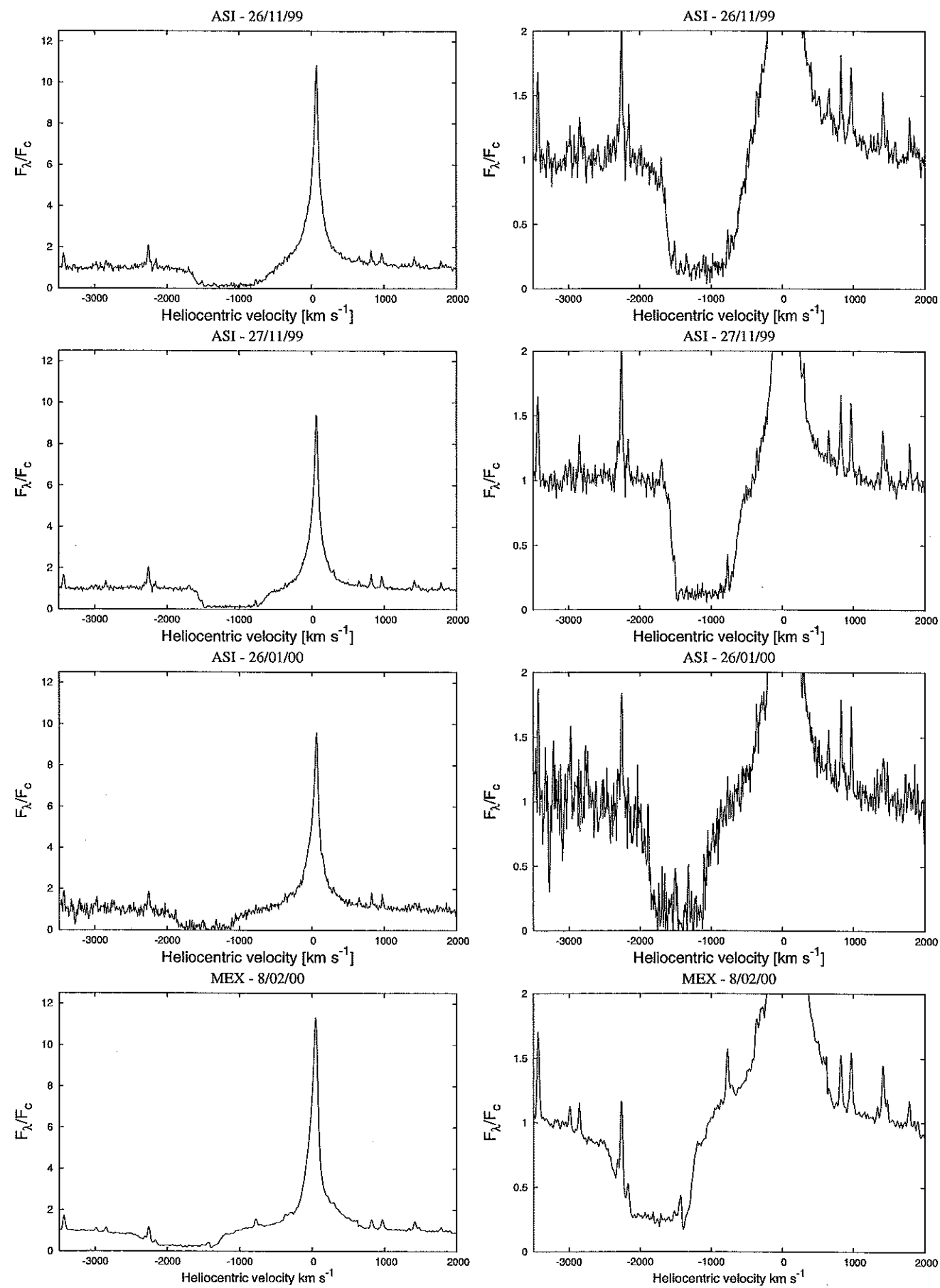


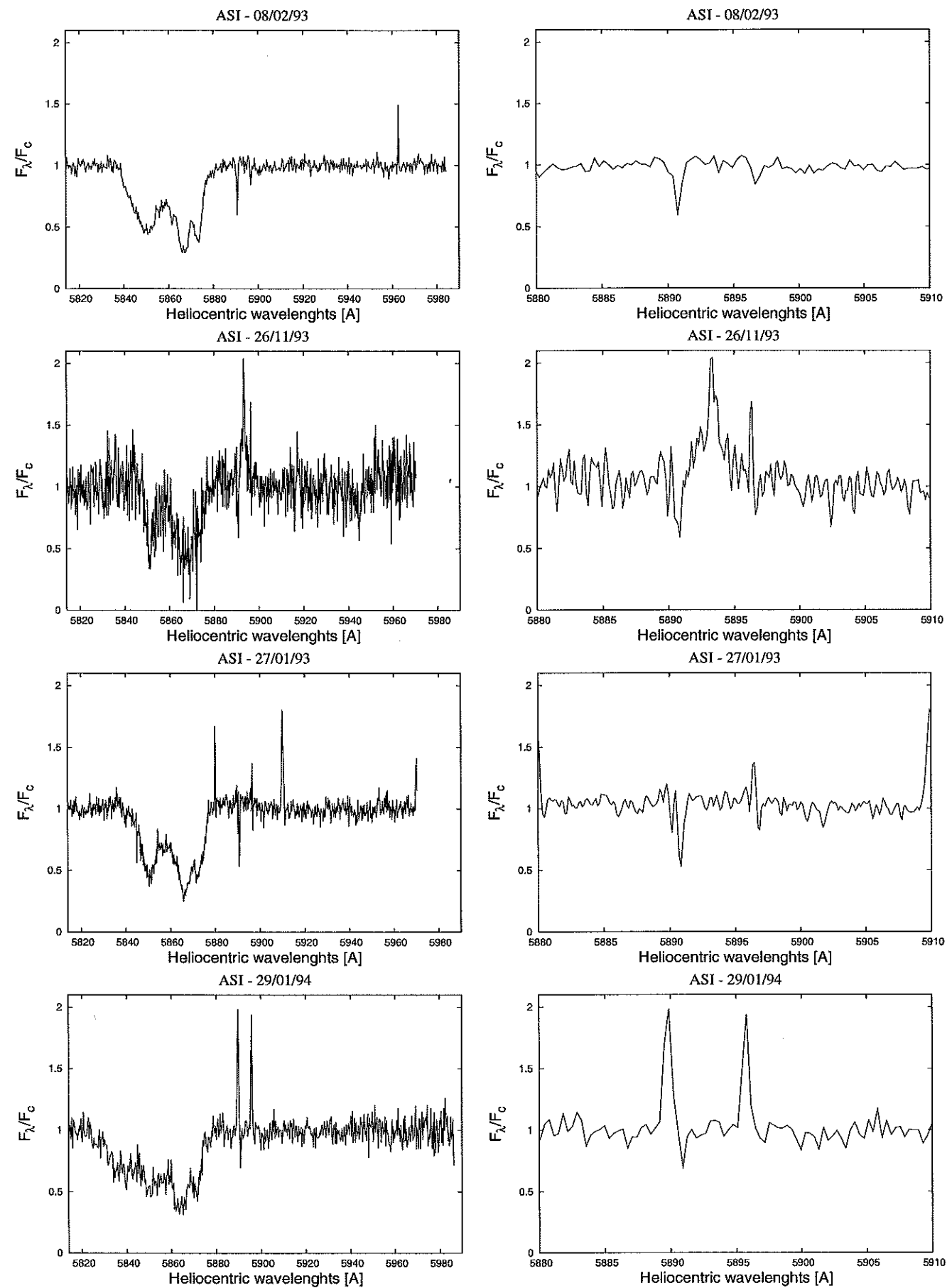
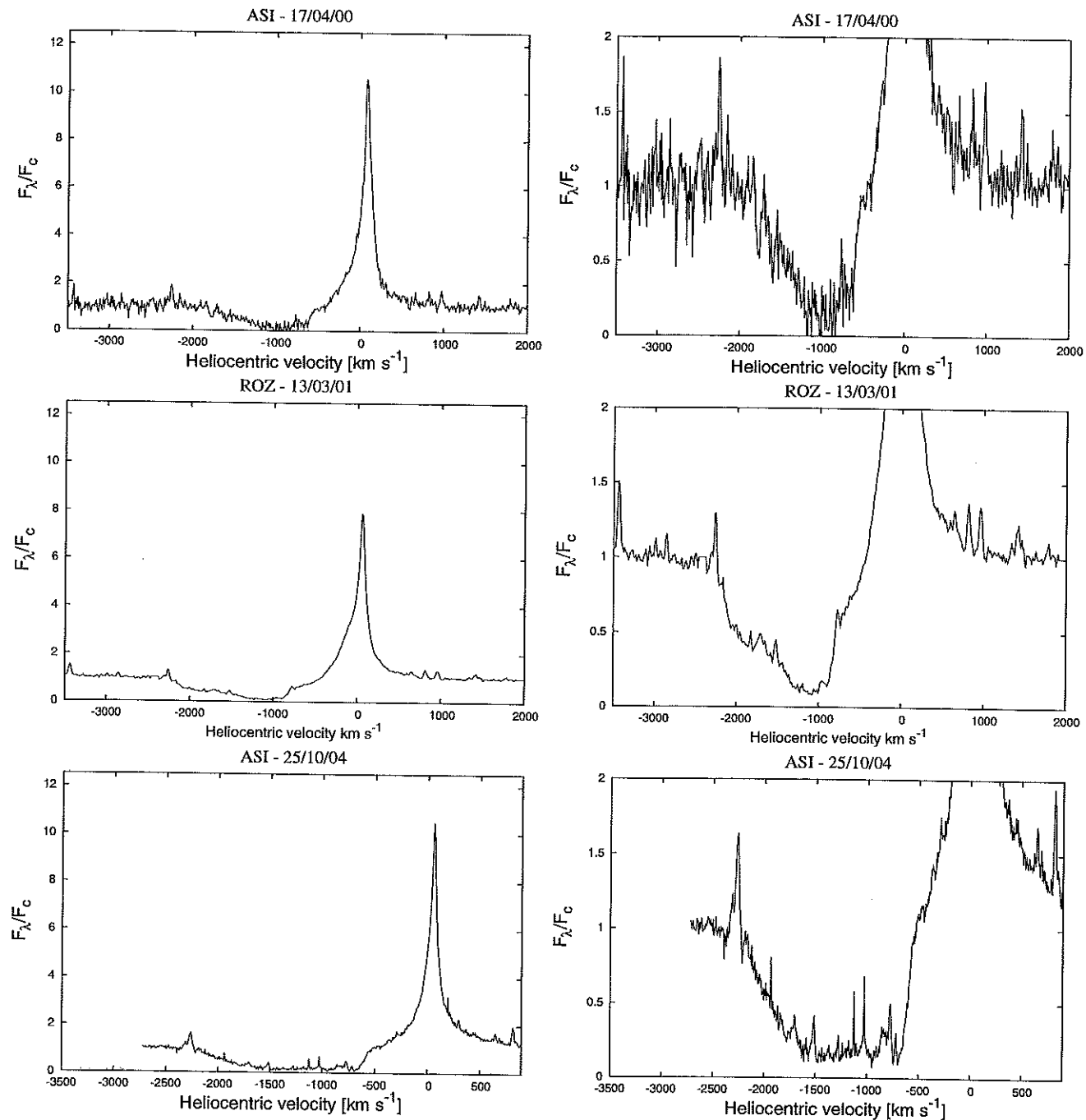




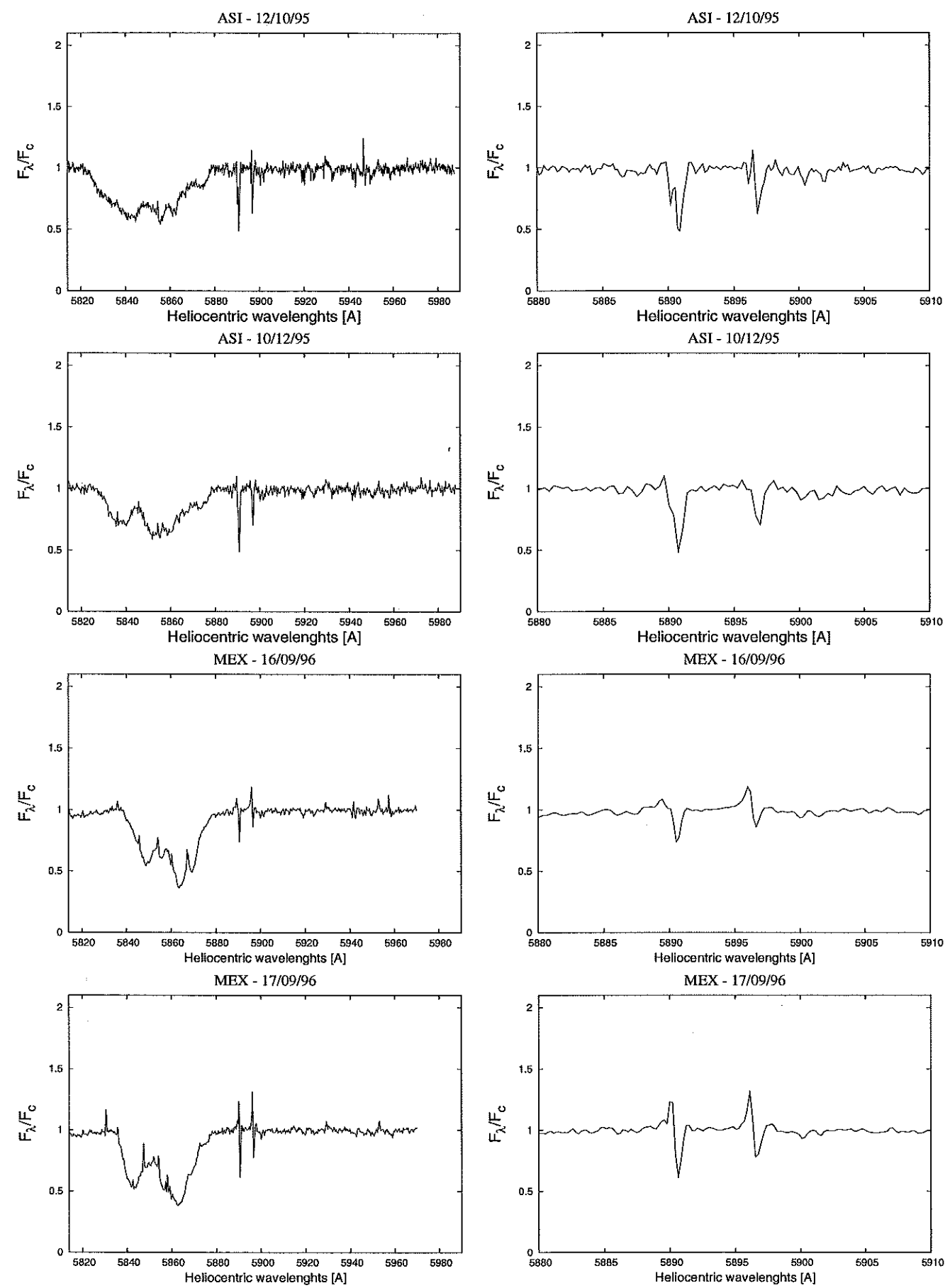
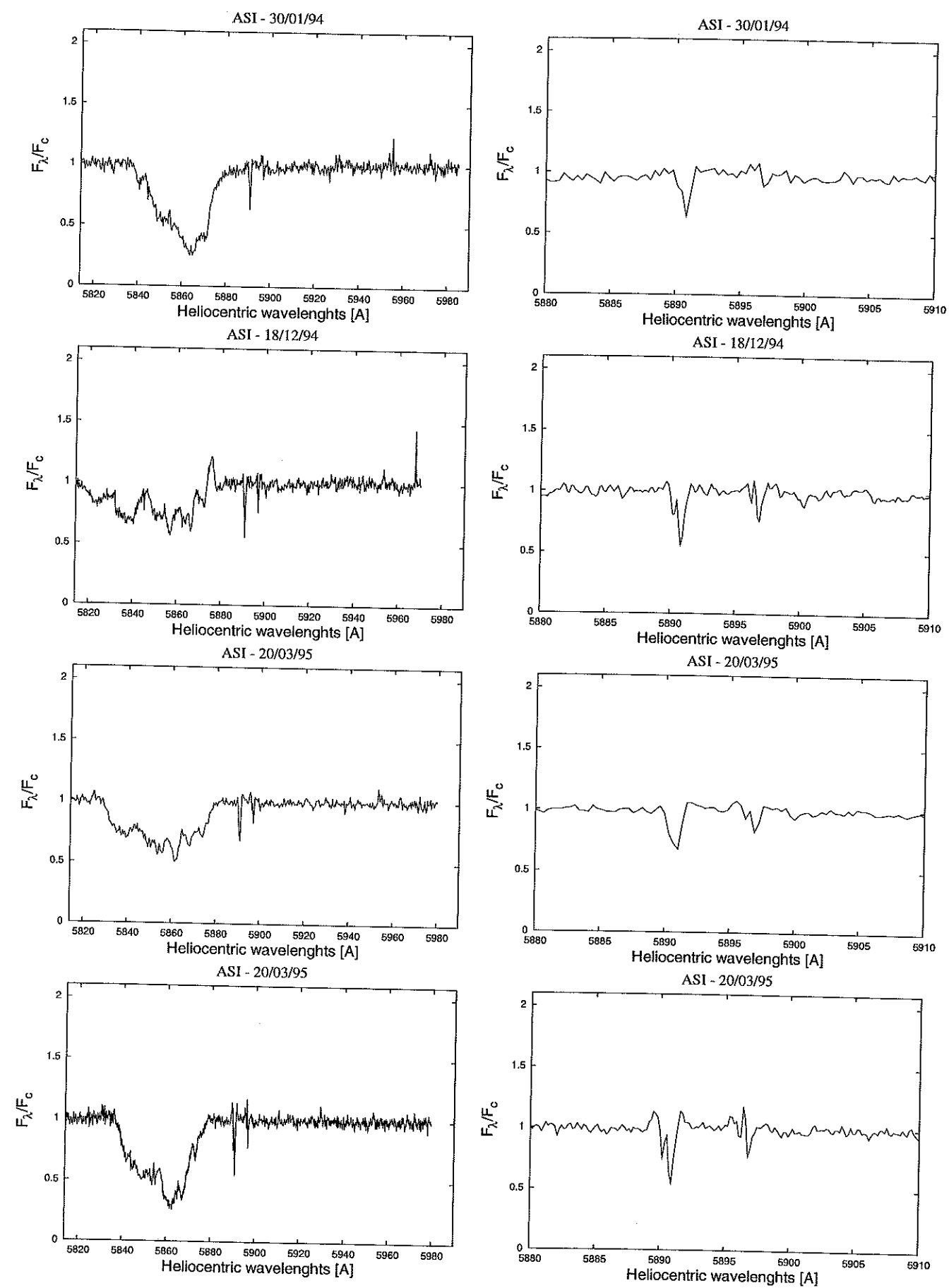


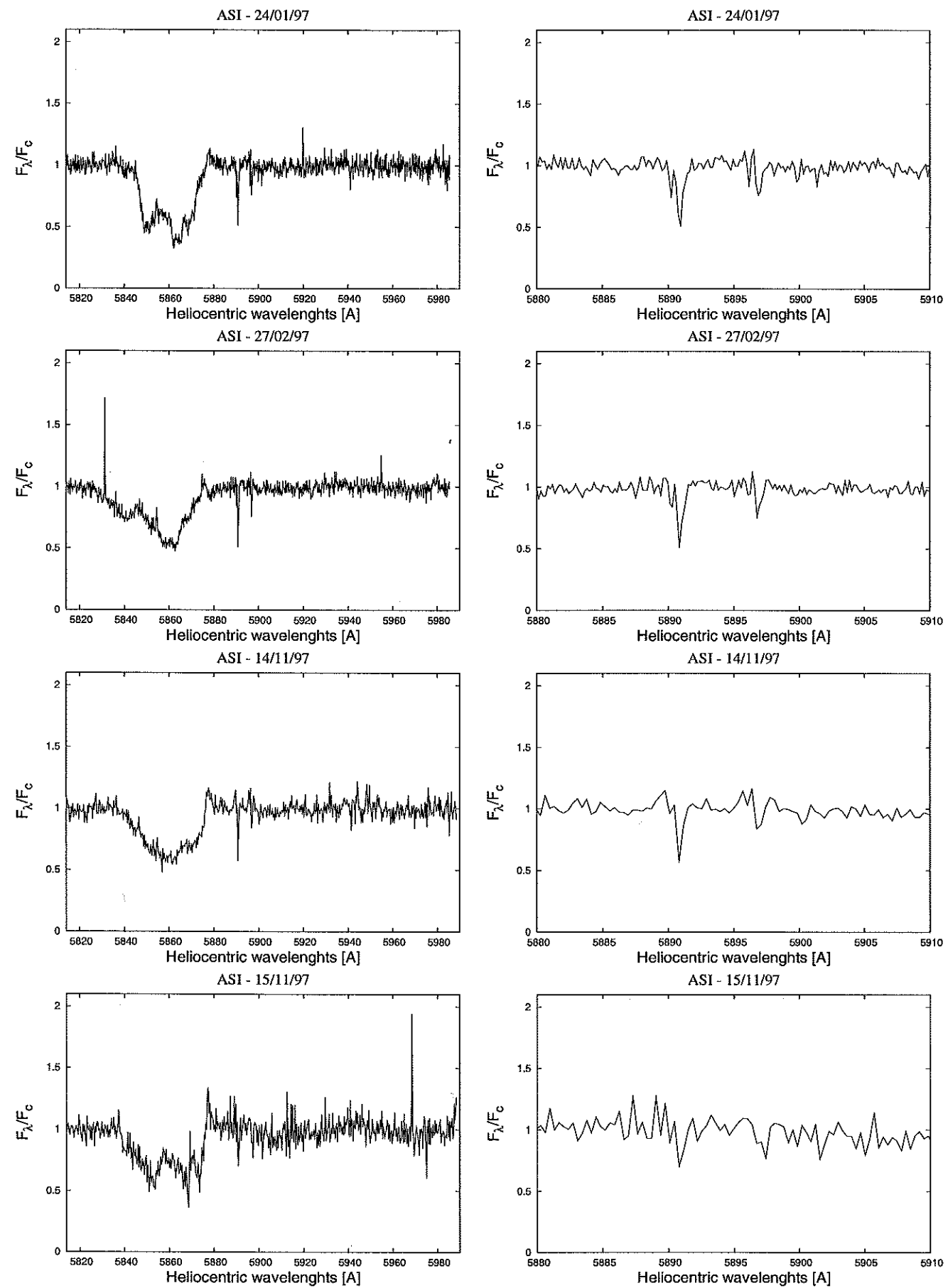
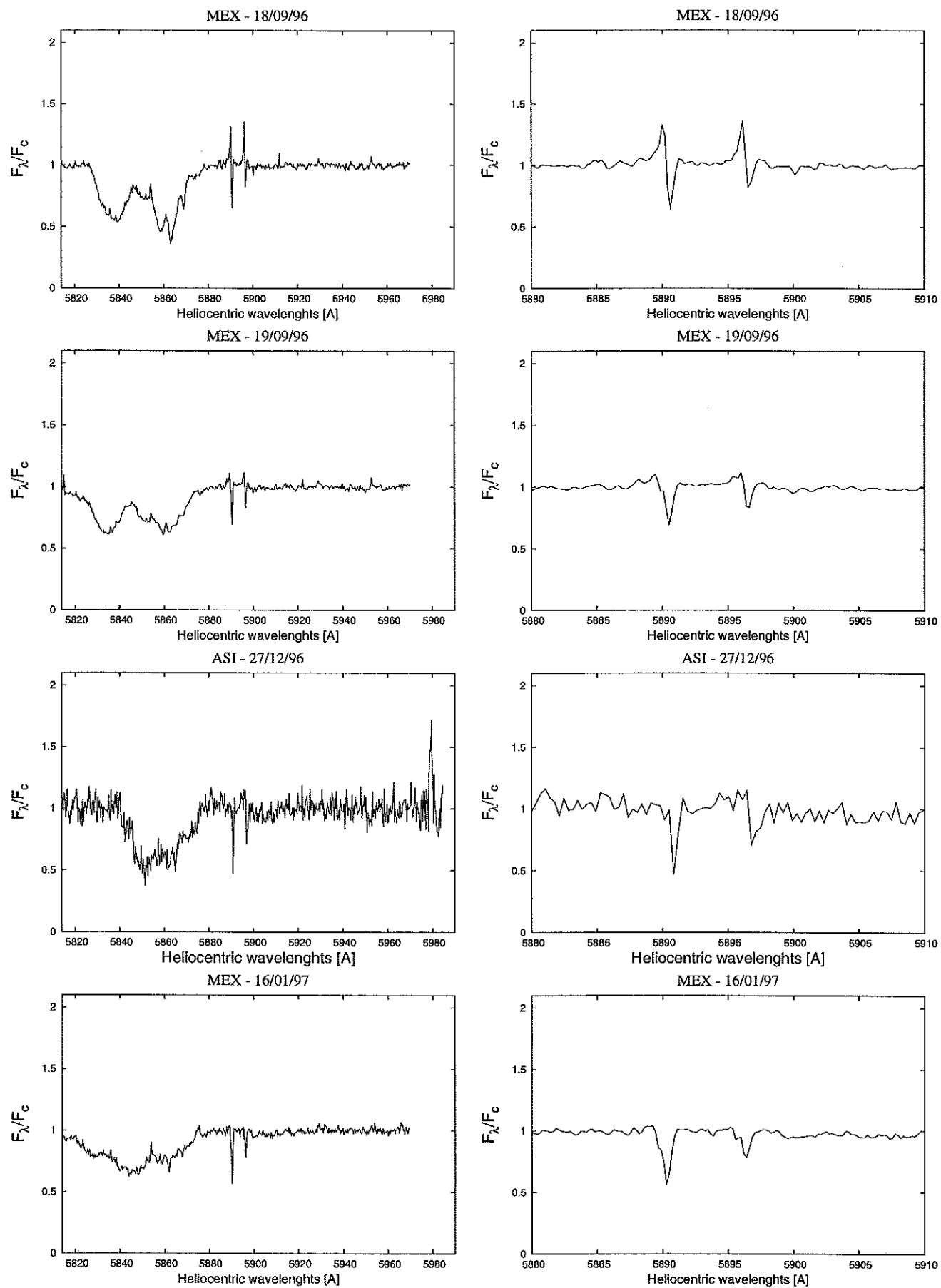


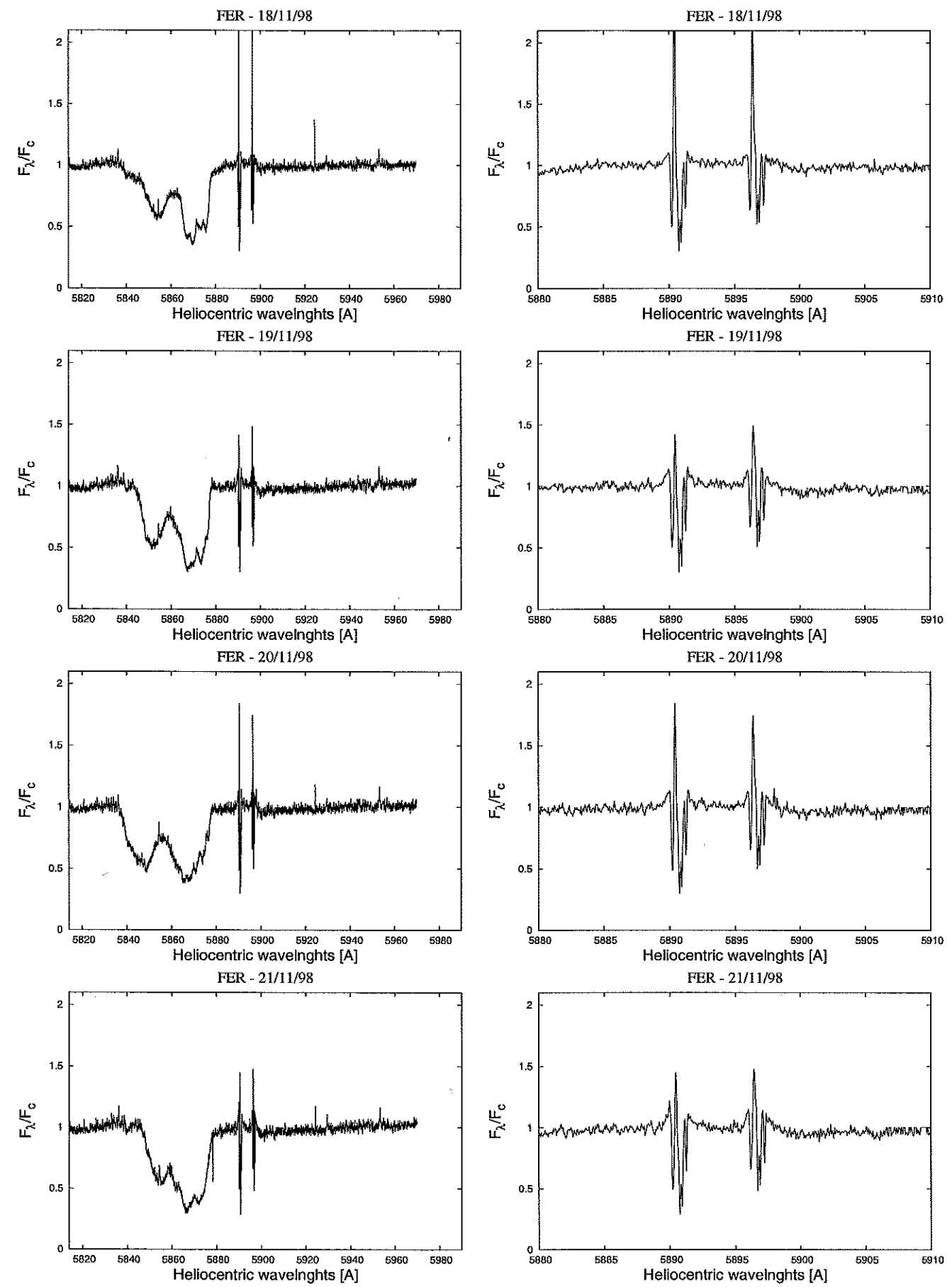
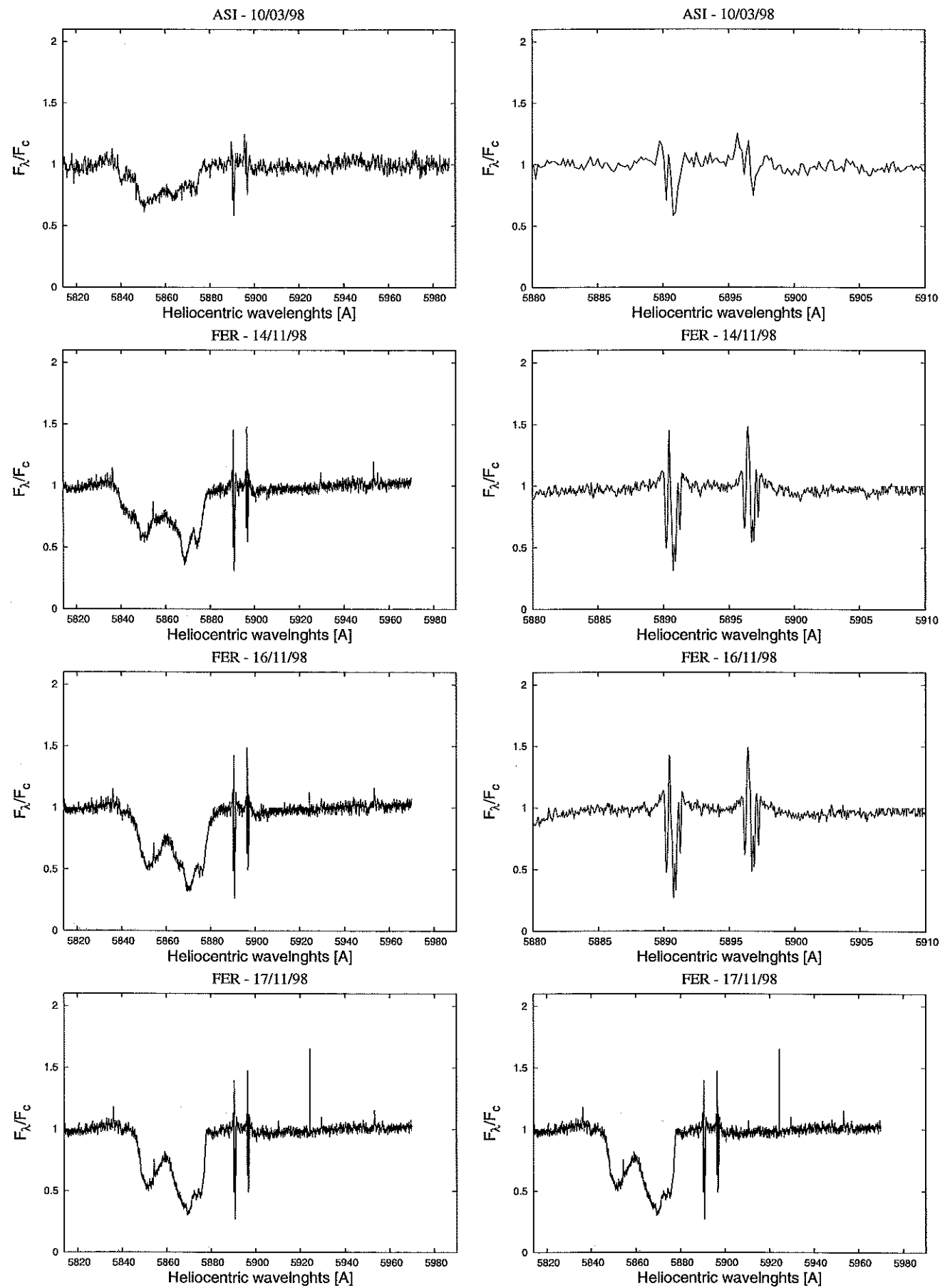


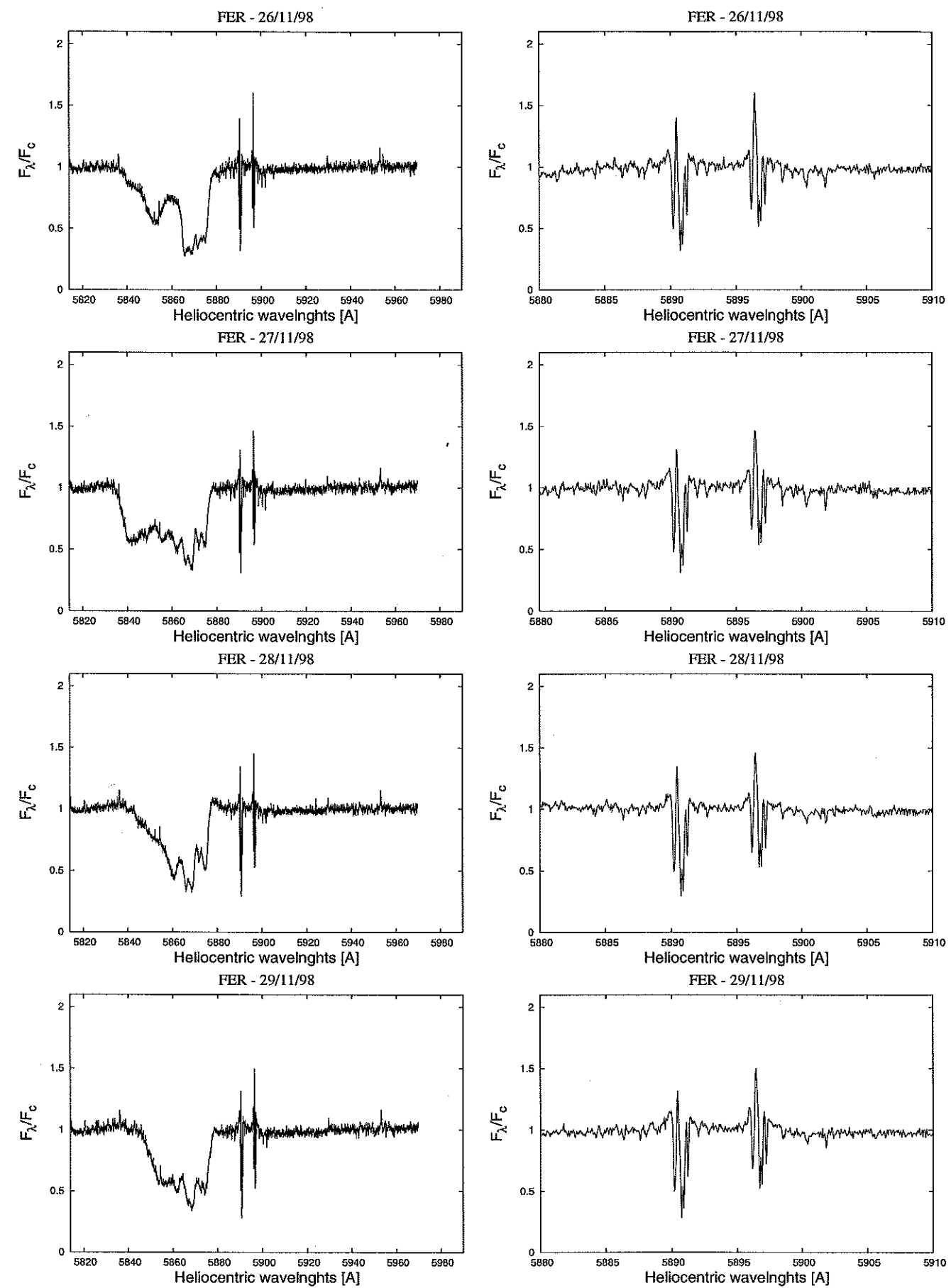
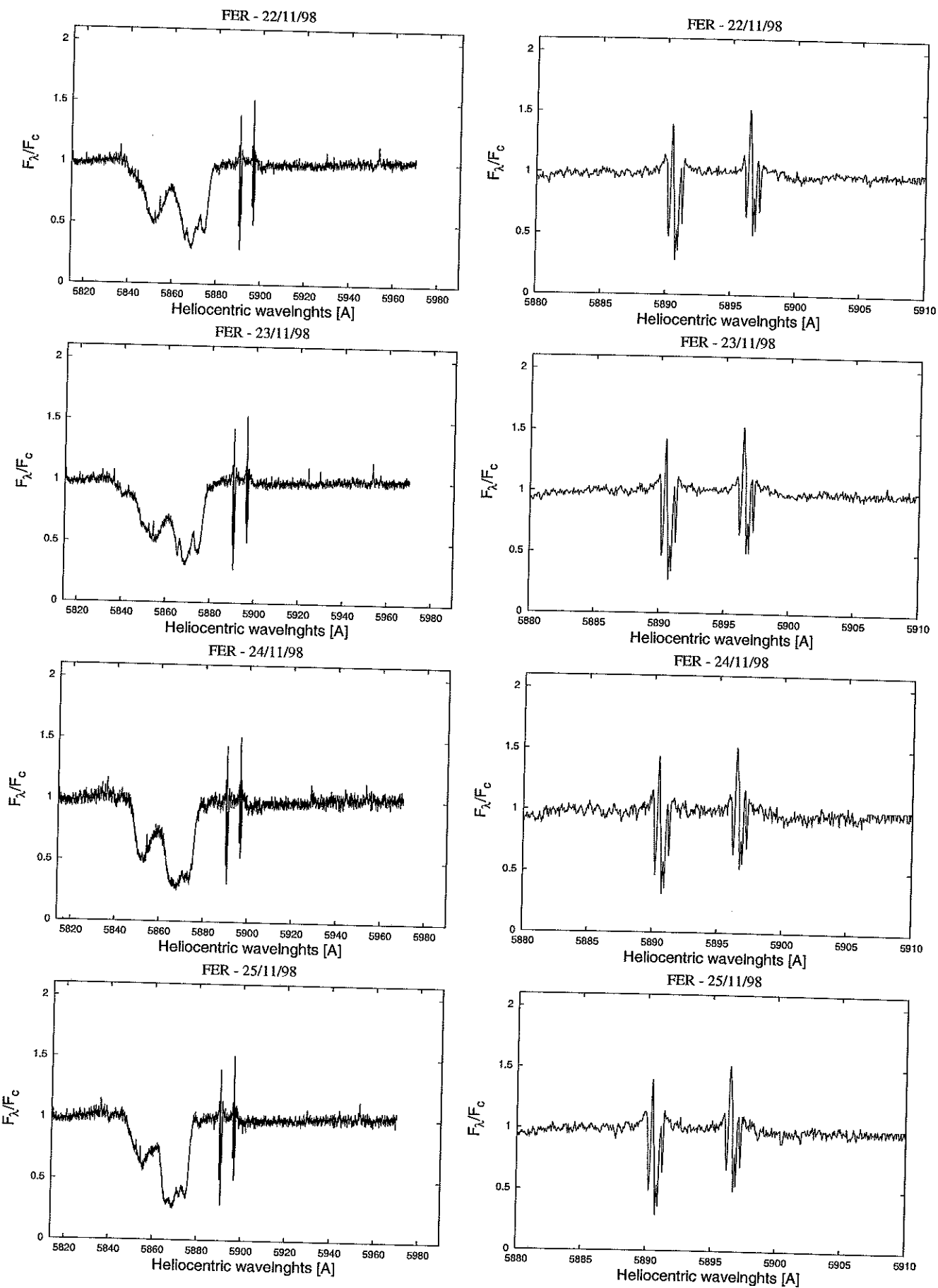


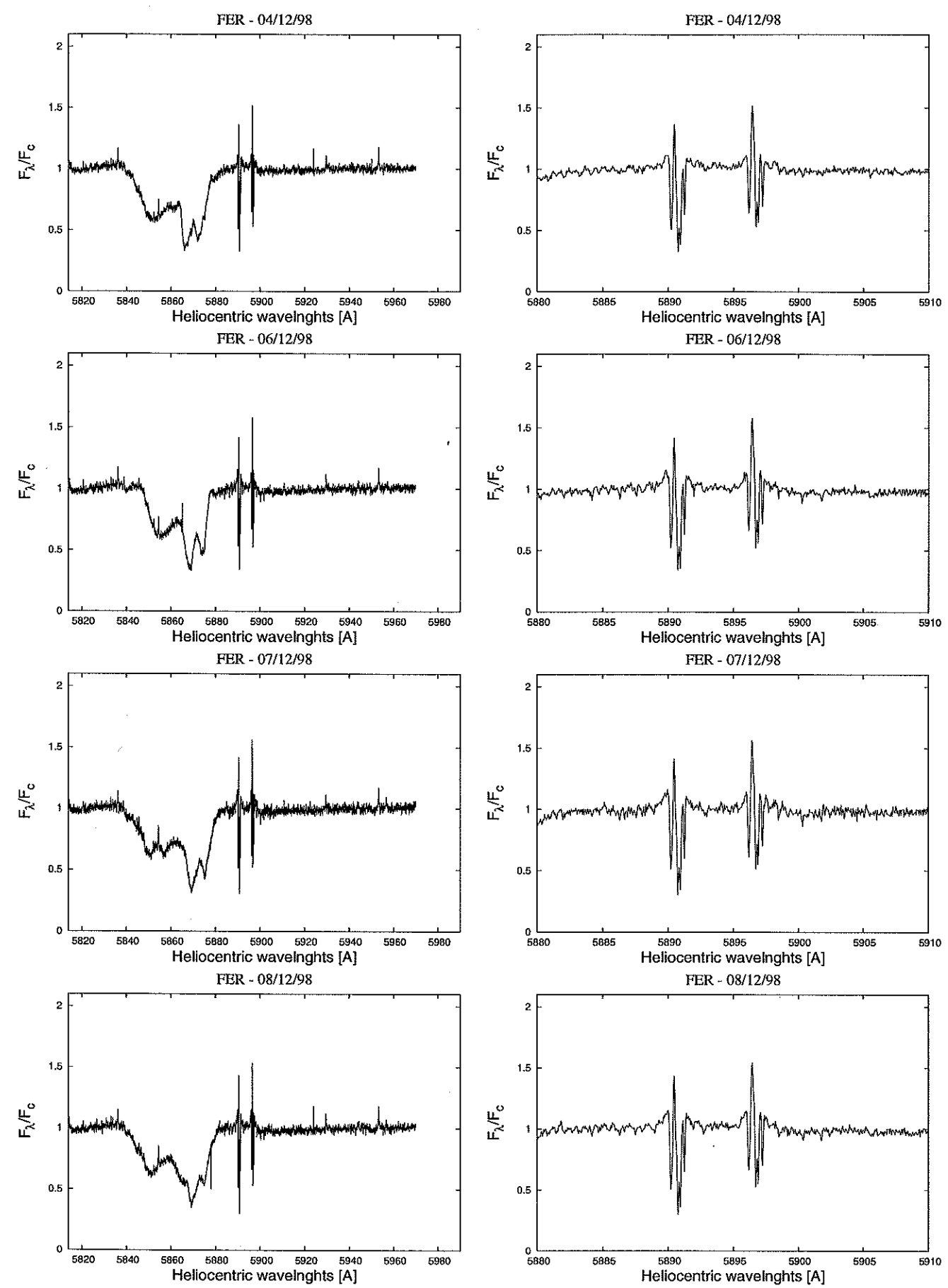
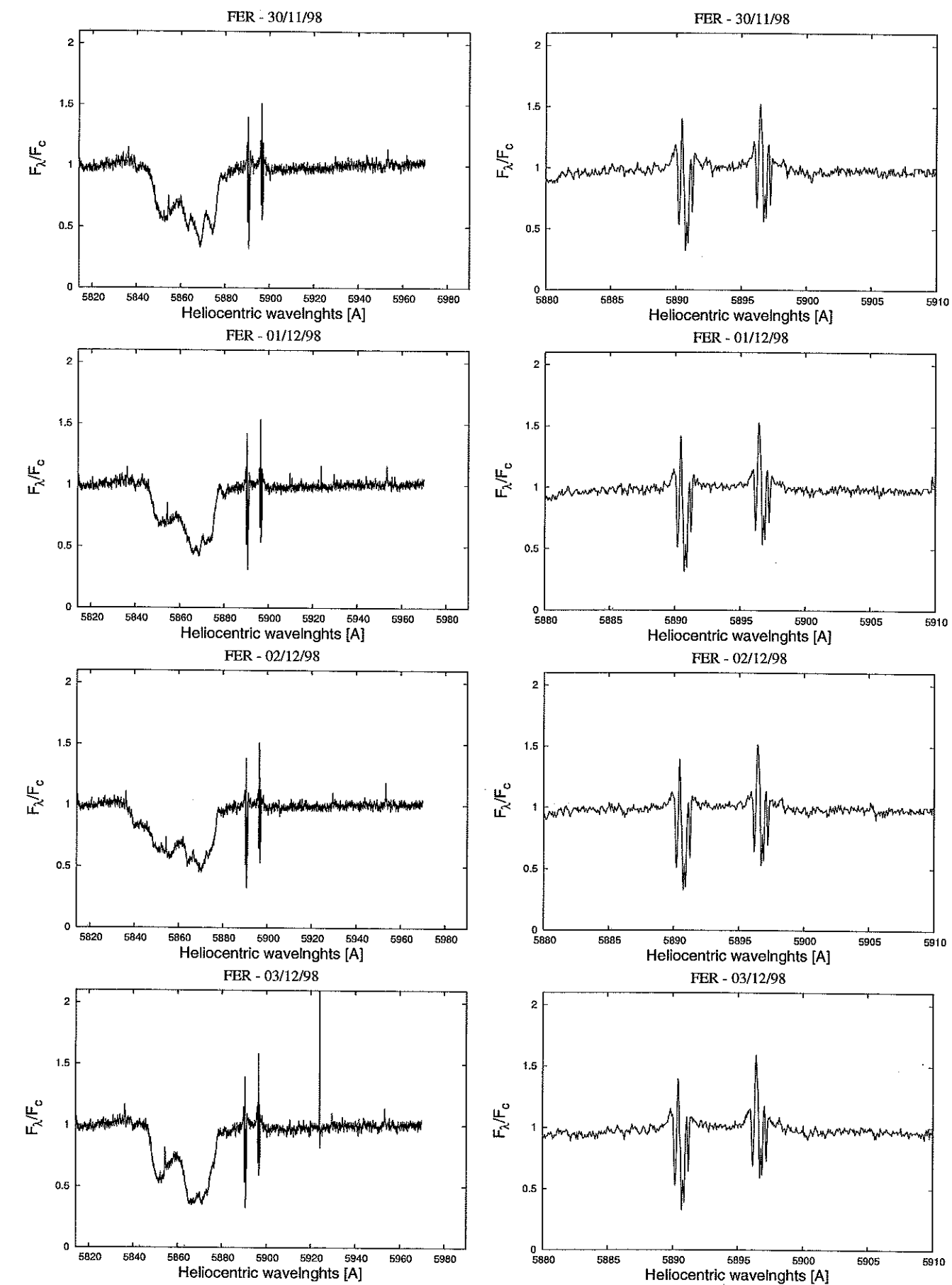
Rysunek 5.3: Atlas widmowy linii *NaI*.

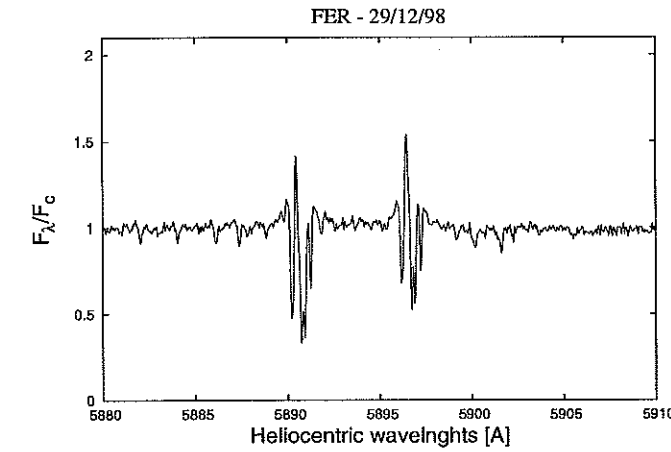
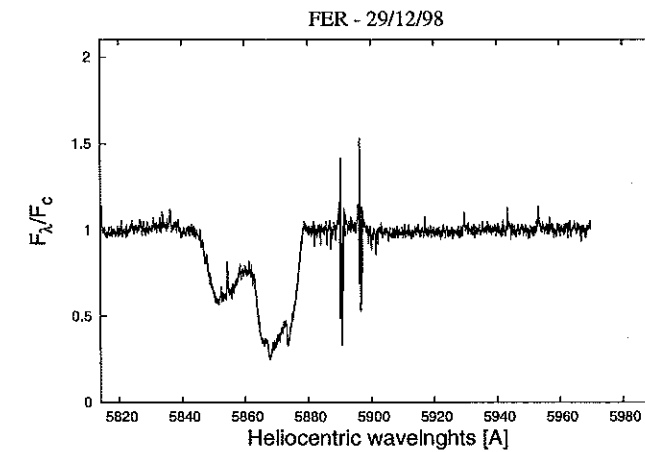
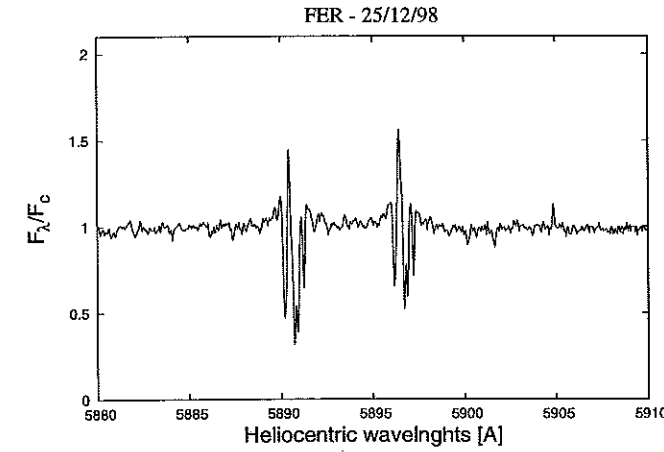
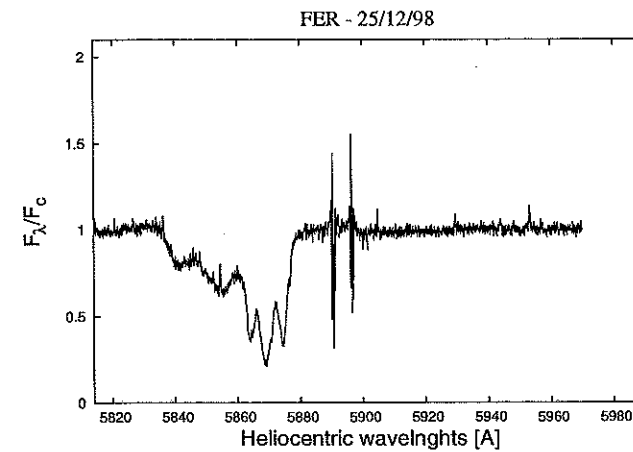


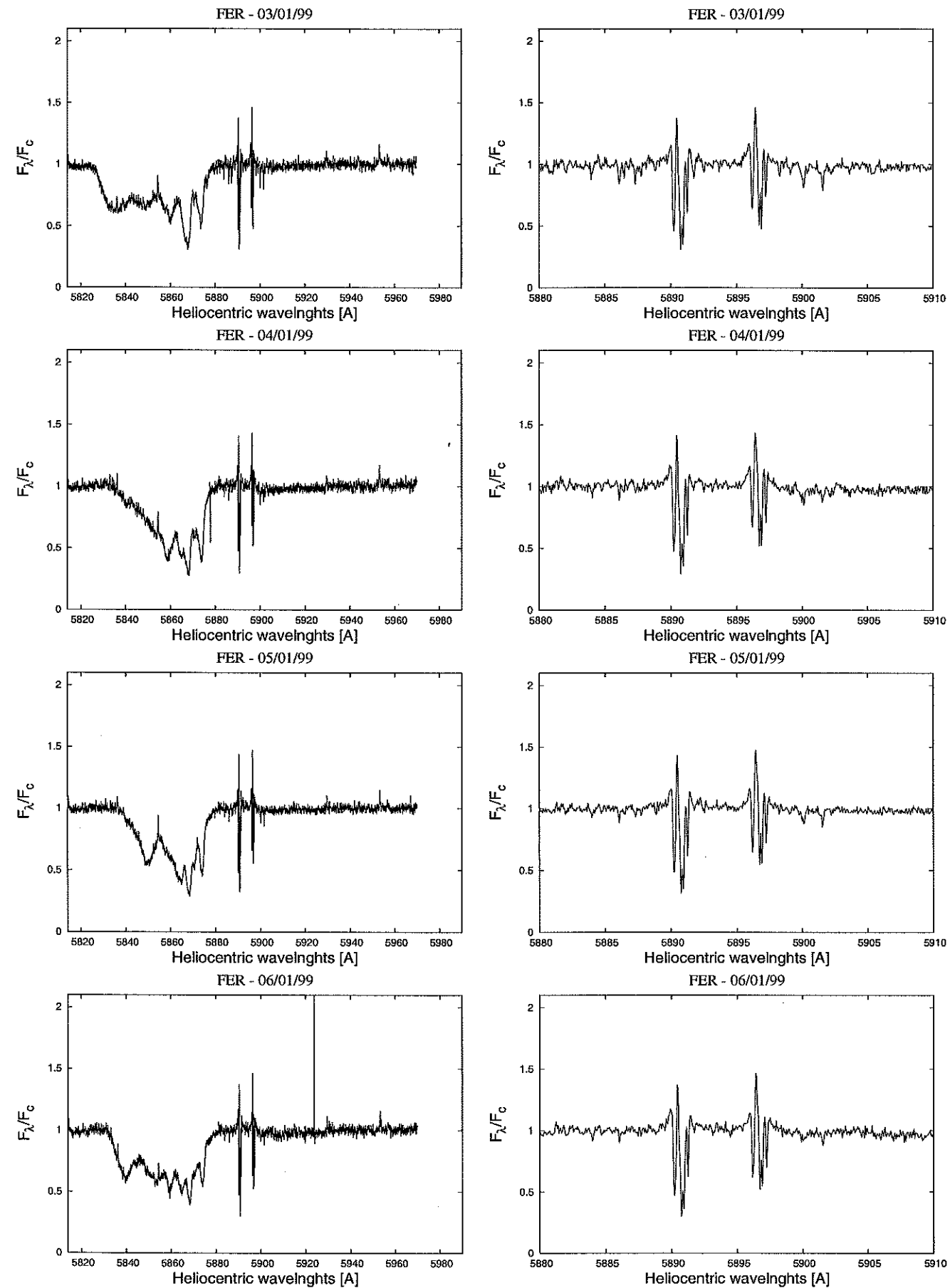
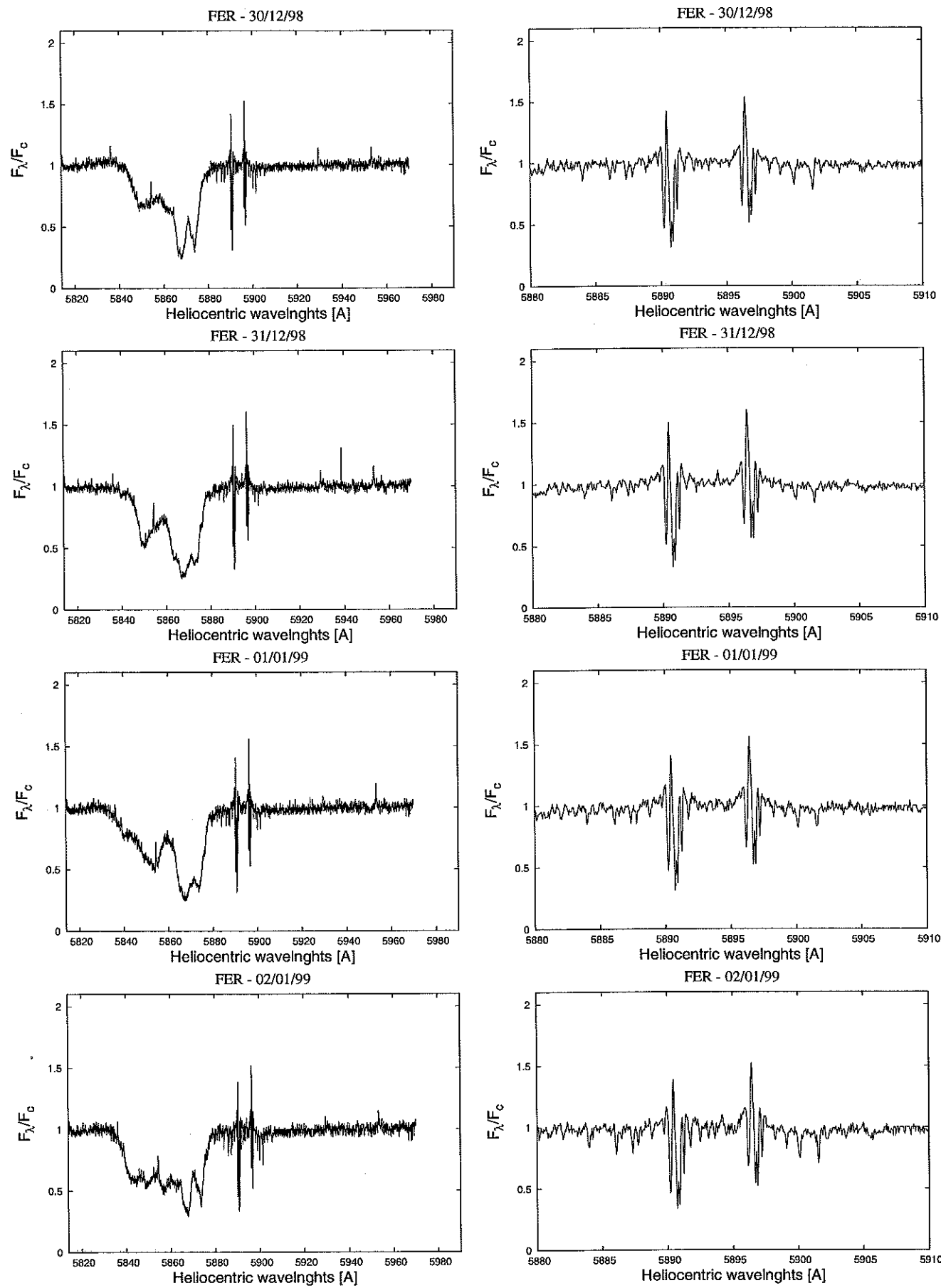


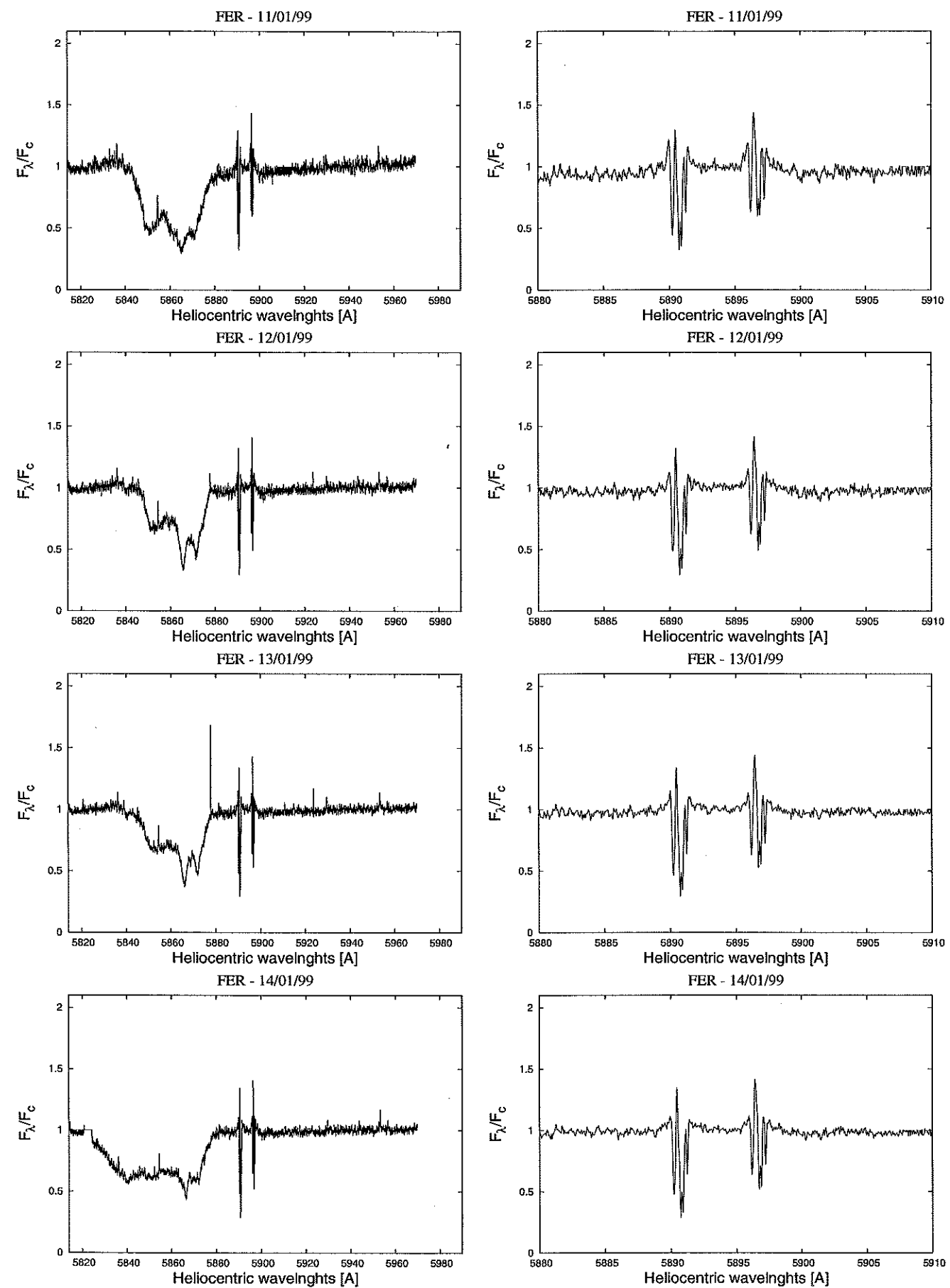
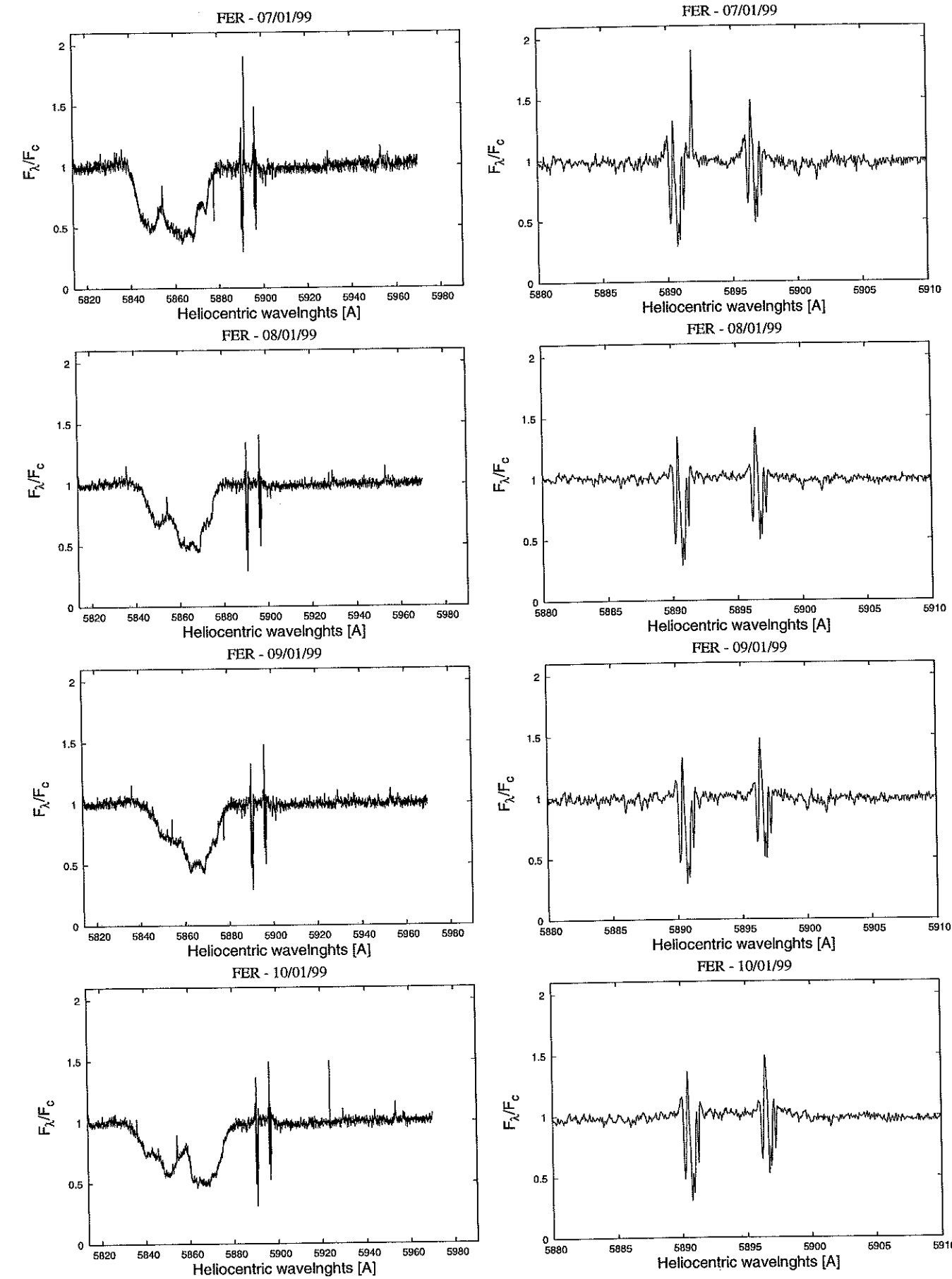


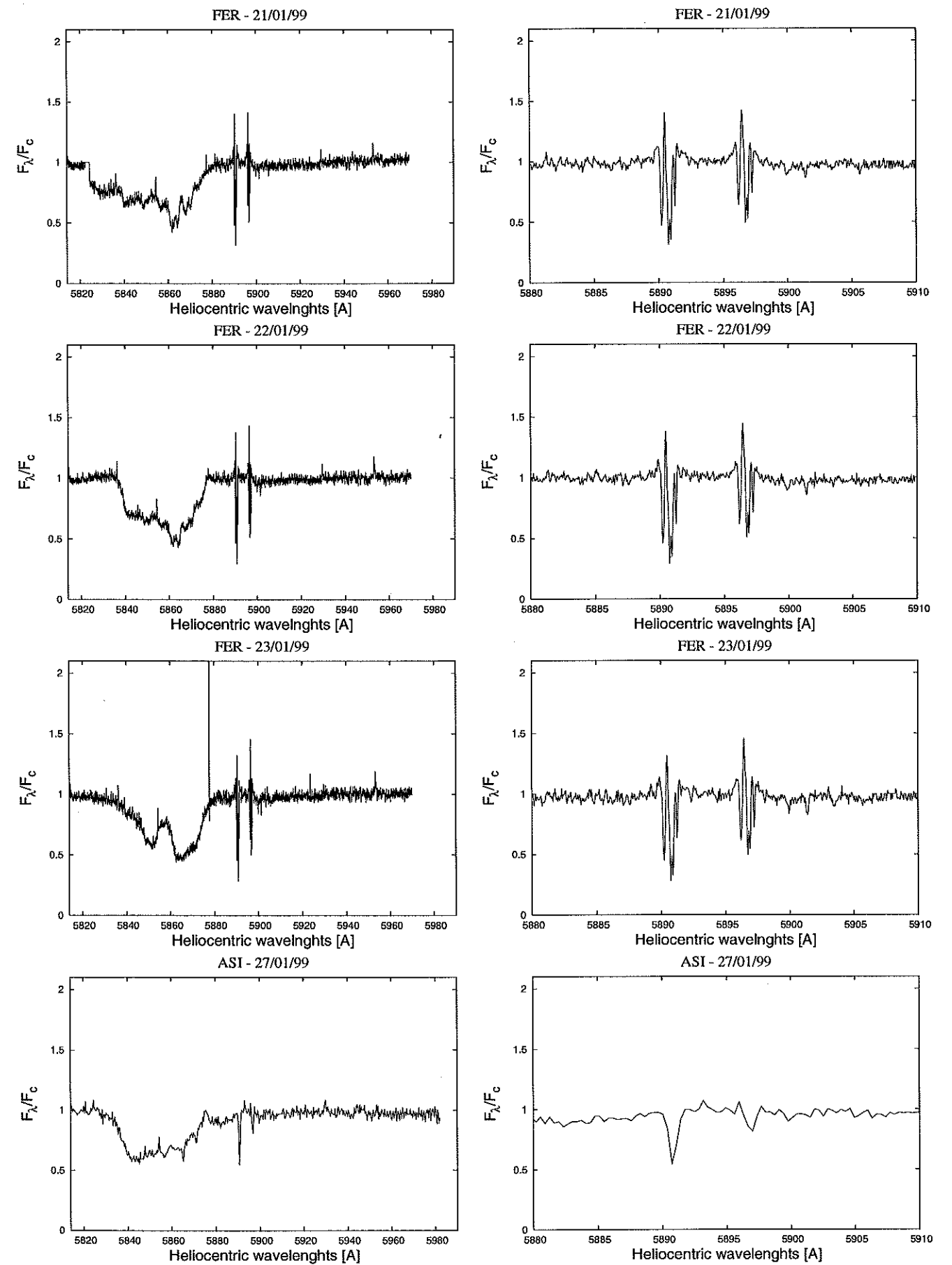
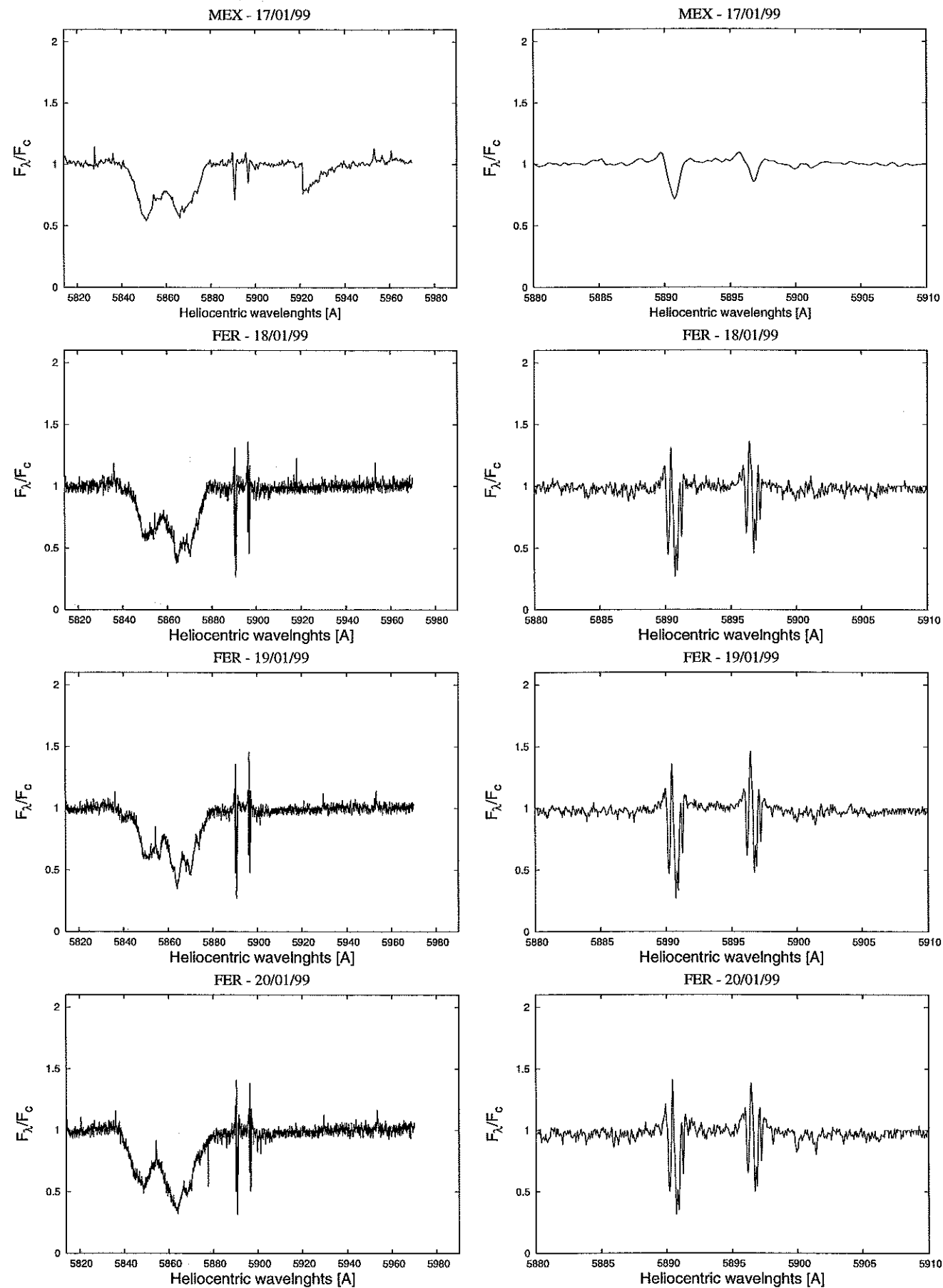


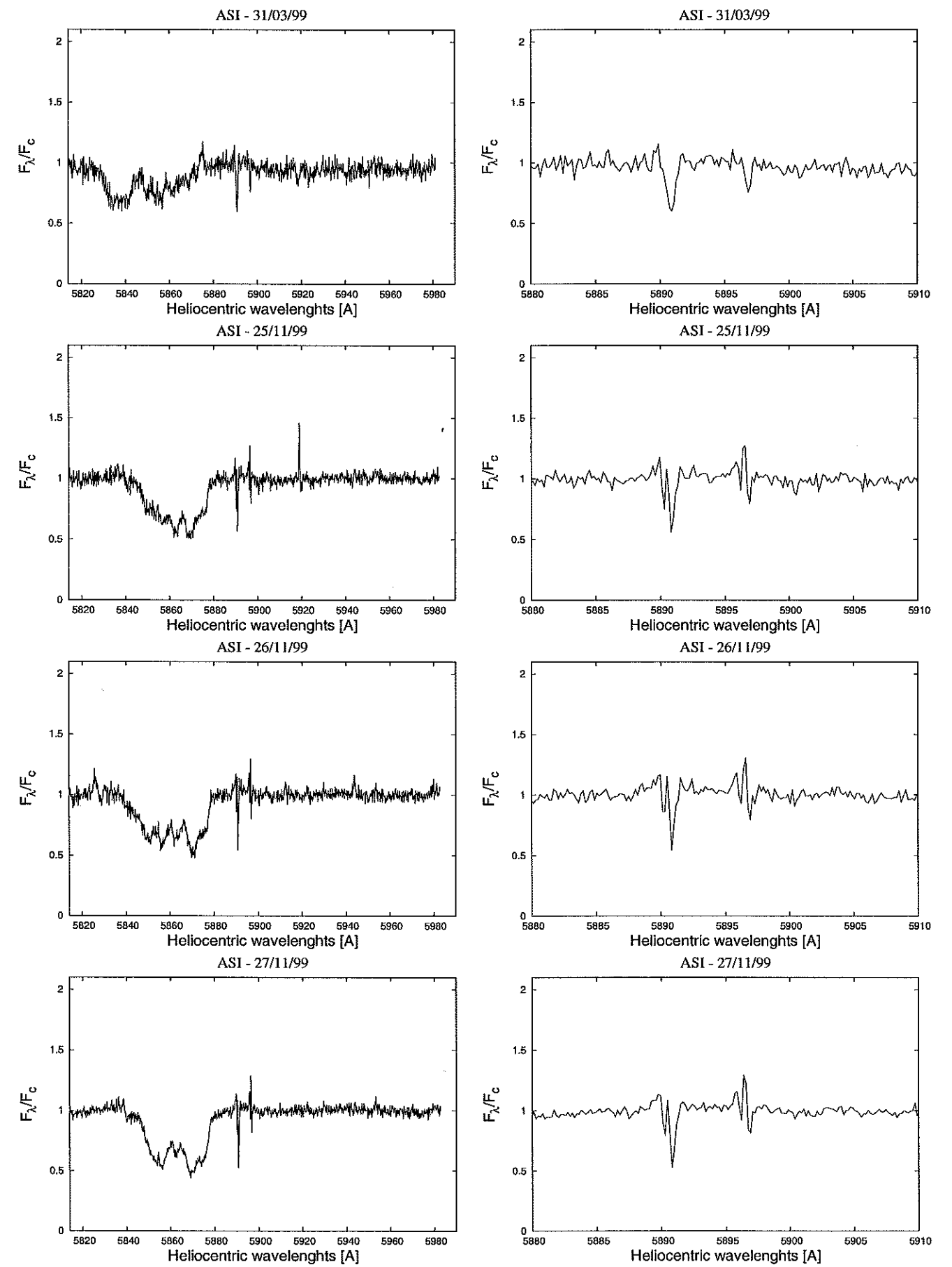
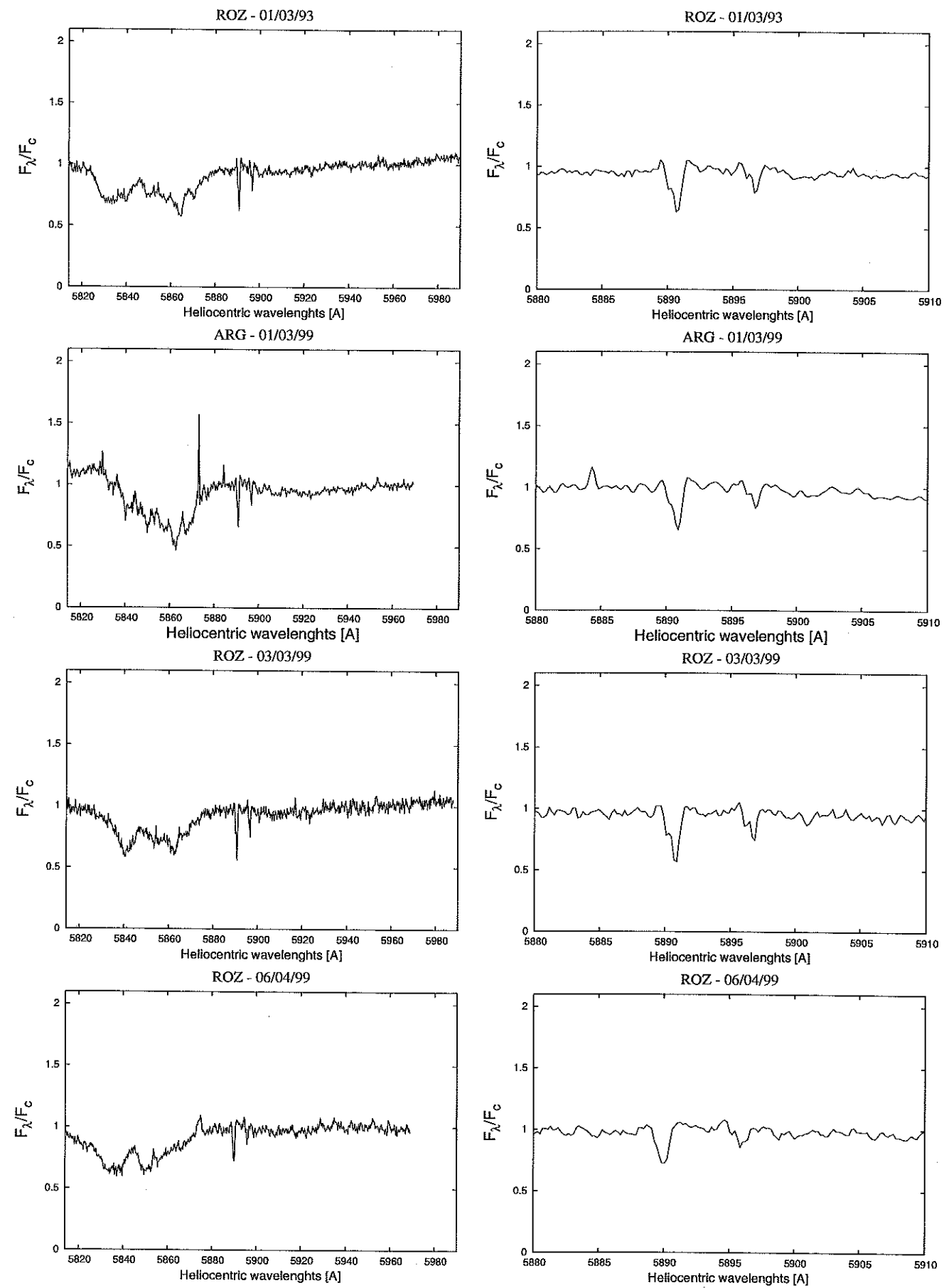


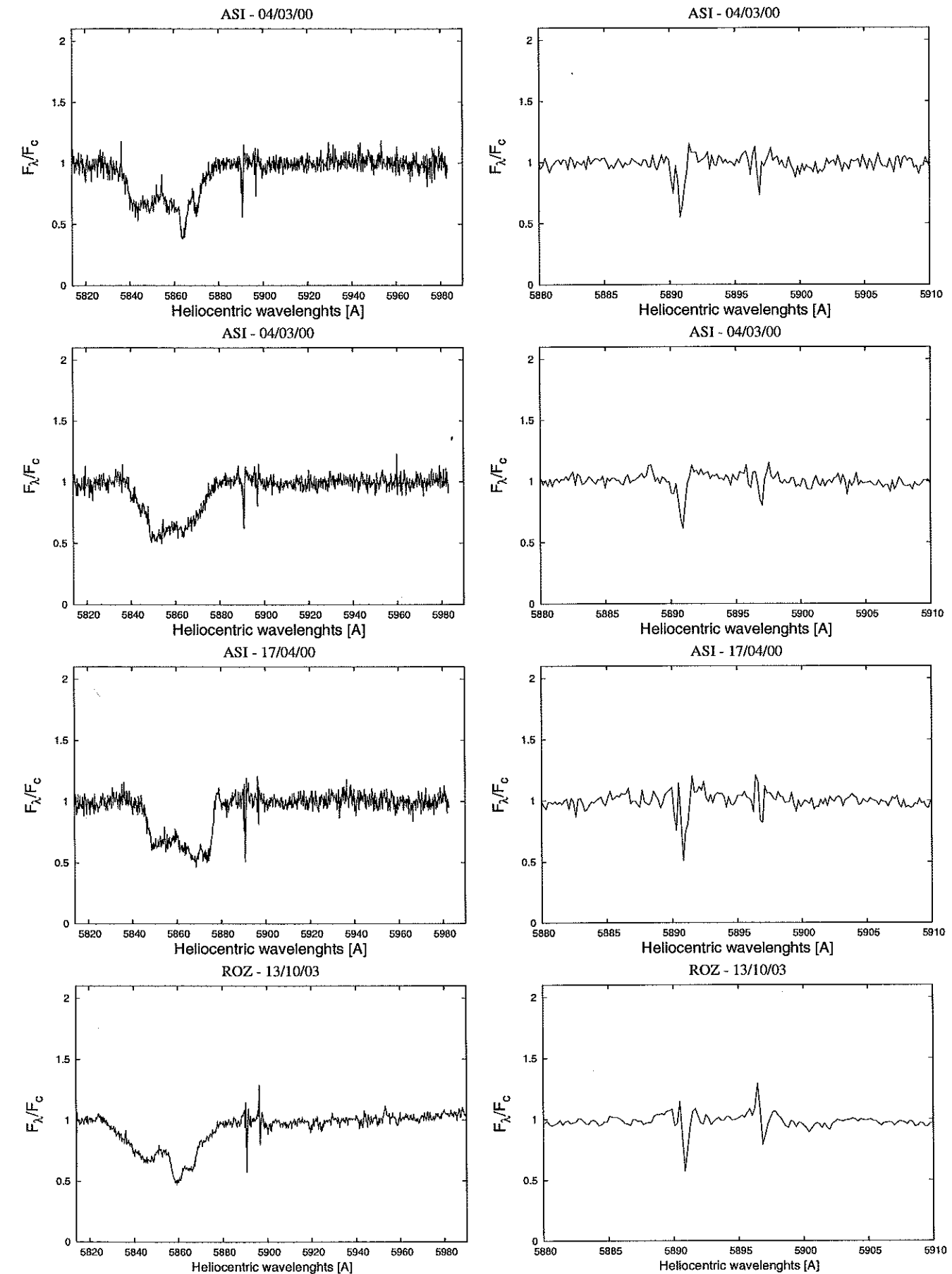
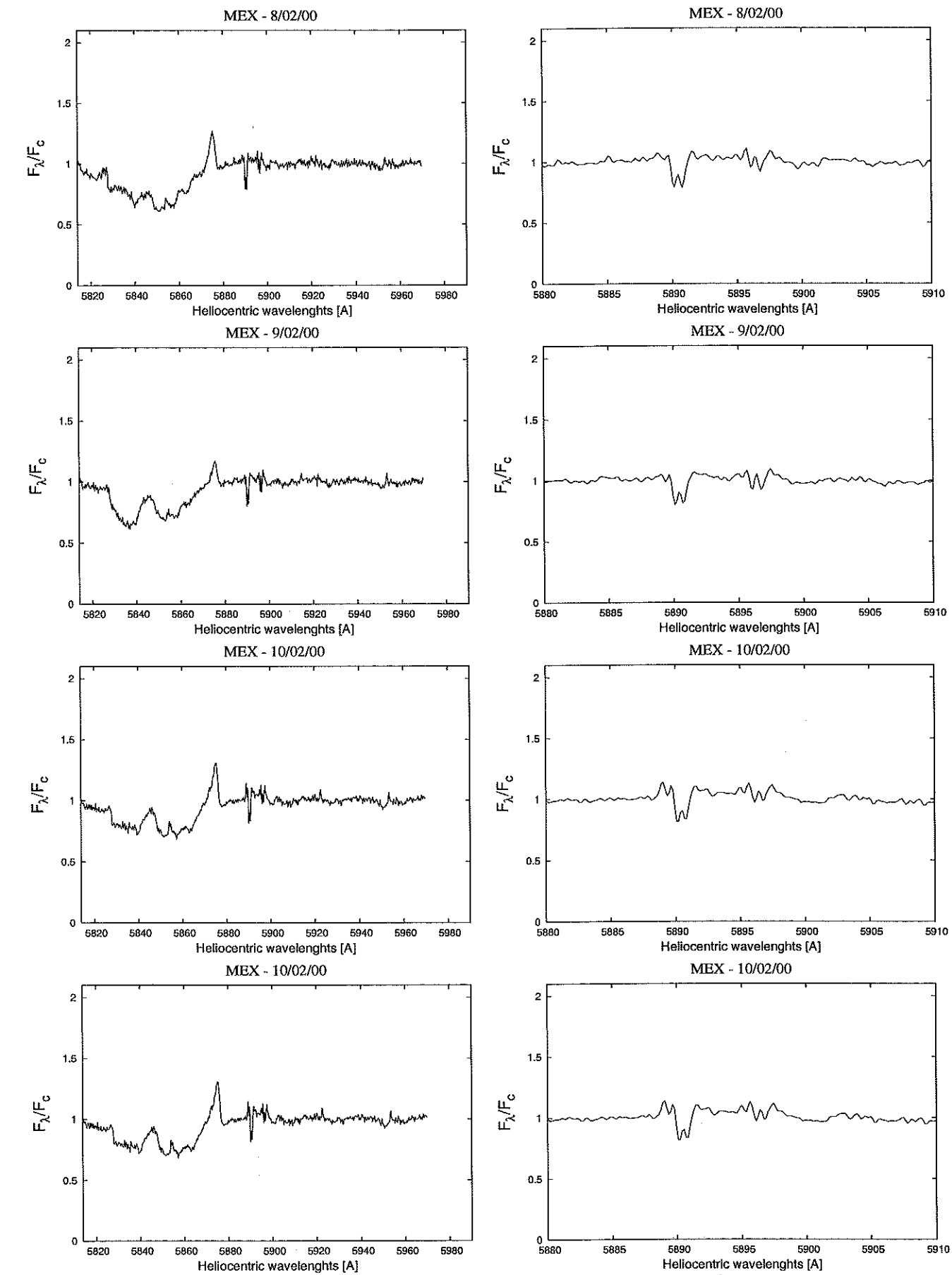












Dodatek B

W dodatku tym przedstawiam stabelaryzowane prędkości radialne dżetu w liniach $H\alpha$ i $H\beta$. W pierwszej kolumnie znajduje dzień juliański w drugiej data obserwacji, w trzeciej zmierzona długość fali, która określa maskymalną prędkość dżetu, w czwartej kolumnie maksymalna prędkość wyliczona dla tej długości fali. W ostatniej kolumnie znajduje się opis wskazujący na miejsce obserwacji:

- ROZ - Rozhen, Bułgaria
- ASI - Asiago, Włochy
- FER - Las Palmas, Chile - skrót od nazwy spektografu (FEROS)
- ARG - San Juan, Argentyna
- MEX - San Pedro, Meksyk
- UVE - Atakama, Chile - skrót od nazwy spektografu (UVES)

W tabeli zawierającej prędkości radialne pomierzone w linii $H\beta$ zawarte jest kilka nocy, dla których nie ma policzonych prędkości radialnych. Są to noce, w których profil absorpcyjny całkowicie zanikł. Pominęte zostały także kilka widm, w których nie byłem w stanie dokonać pomiaru z powodu dużego zaszumienia widma.

Tabela 5.1: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\alpha$.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2449027.39018215	08/02/1993	6518.734	-2015.12551698453	ASI
2449256.57106152	26/09/1993	6525.623	-1700.21501437571	ROZ
2449257.56975354	27/12/1993	6526.53	-1658.75415998954	ROZ
2449258.58164159	28/09/1993	6511.546	-2343.70393079678	ROZ
2449259.58172363	29/09/1993	6502.289	-2766.86063317019	ROZ
2449290.57396089	30/10/1993	6524.341	-1758.81789786305	ROZ
2449292.57413003	01/11/1993	6523.949	-1776.73703228356	ROZ
2449317.52852916	26/11/1993	6527.775	-1601.84262337349	ASI
2449318.54687271	27/11/1993	6522.377	-1848.59641827585	ASI
2449326.60926046	05/12/1993	6512.353	-2306.81428417096	ROZ
2449346.52543955	25/12/1993	6511.2889	-2355.45650594861	ROZ
2449353.53048776	01/01/1994	6513.444	-2256.94240750578	ROZ
2449354.57425943	02/01/1994	6517.015	-2093.70457838454	ROZ
2449357.53958986	05/01/1994	6499.443	-2896.95720602905	ROZ
2449382.40291733	29/01/1994	6507.462	-2530.39205572849	ASI
2449383.40395902	30/01/1994	6517.612	-2066.41446805541	ASI
2449385.3991516	01/02/1994	6521.385	-1893.9427992583	ROZ
2449386.43176208	02/02/1994	6519.389	-1985.18410615441	ROZ
2449408.33813149	24/02/1994	6519.997	-1957.39116297162	ASI
2449413.39509794	01/03/1994	6517.821	-2056.86064383633	ROZ
2449733.51883507	16/01/1995	6508.338	-2490.34827574806	ASI
2449797.31218655	20/03/1995	6517.35	-2078.39103238745	ASI
2449798.36130589	21/03/1995	6517.292	-2081.04233288844	ASI
2450002.63727801	12/10/1995	6502.034	-2778.51721295902	ASI
2450061.63763575	10/12/1995	6507.208	-2542.00292343975	ASI
2450144.33078726	01/03/1996	6500.377	-2854.26212554759	ASI
2450146.26022413	03/03/1996	6508.803	-2469.09215966254	ROZ
2450175.31217613	01/04/1996	6507.353	-2535.37467218726	ROZ
2450207.28306932	03/05/1996	6502.134	-2773.94600519868	ROZ
2450209.26554759	05/05/1996	6505.576	-2616.60503408826	ROZ
2450342.99652818	16/09/1996	6518.611	-2020.74810252976	MEX
2450344.00441431	17/09/1996	6517.468	-2072.99700723029	MEX
2450345.02019273	18/09/1996	6506.92	-2555.16800178947	MEX

Tabela 5.2: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\alpha$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2450346.00010077	19/09/1996	6502.221	-2769.96905444722	MEX
2450413.64552294	25/11/1996	6518.969	-2004.38317874778	ROZ
2450444.59794073	27/12/1996	6508.103	-2501.09061398482	ASI
2450465.40184141	16/01/1997	6502.215	-2770.24332691281	MEX
2450472.32714232	23/01/1997	6512.348	-2307.04284455898	ROZ
2450473.34146796	24/01/1997	6513.783	-2241.44601319828	ROZ
2450473.43983451	24/01/1997	6515.149	-2179.00331519223	ASI
2450502.42302669	22/02/1997	6511.512	-2345.25814143531	ASI
2450706.5848559	14/09/1997	6507.898	-2510.46158989348	ROZ
2450766.63240196	14/11/1997	6518.764	-2013.75415465645	ASI
2450767.62245494	15/11/1997	6525.21	-1719.09410242583	ASI
2450883.34565478	10/03/1998	6532.799	-1372.18514549469	ASI
2451131.2355903	14/11/1998	6518.239	-2037.75299539818	FER
2451132.2061921	15/11/1998	6523.568	-1794.15333385038	FER
2451133.2233796	16/11/1998	6523.646	-1790.58779179735	FER
2451134.300081	17/11/1998	6527.619	-1608.97370747959	FER
2451135.2839583	18/11/1998	6529.704	-1513.66402567679	FER
2451136.2594676	19/11/1998	6523.756	-1785.55946326096	FER
2451137.3660417	20/11/1998	6518.107	-2043.7869896418	FER
2451138.2628125	21/11/1998	6524.364	-1757.76652007821	FER
2451139.2780787	22/11/1998	6519.191	-1994.23509751987	FER
2451140.2944792	23/11/1998	6527.493	-1614.73342925757	FER
2451141.3156018	24/11/1998	6527.23	-1626.75570566727	FER
2451142.1503241	25/11/1998	6529.617	-1517.64097642825	FER
2451143.1507176	26/11/1998	6529.205	-1536.47435240081	FER
2451144.2248264	27/11/1998	6518.411	-2029.8905180504	FER
2451145.2393403	28/11/1998	6520.625	-1928.68397823678	FER
2451146.2584375	29/11/1998	6524.625	-1745.83566782374	FER
2451147.239294	30/11/1998	6523.492	-1797.62745174823	FER
2451148.1821528	01/12/1998	6525.014	-1728.05366963607	FER
2451149.2130671	02/12/1998	6519.15	-1996.10929270161	FER
2451150.1900347	03/12/1998	6527.534	-1612.85923407587	FER

Tabela 5.3: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\alpha$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451151.2225	04/12/1998	6527.471	-1615.73909496488	FER
2451152.1776736	05/12/1998	6527.663	-1606.96237606505	FER
2451153.2985185	06/12/1998	6529.491	-1523.40069820627	FER
2451154.274537	07/12/1998	6519.458	-1982.02997279981	FER
2451155.2399653	08/12/1998	6519.407	-1984.36128875755	FER
2451156.1573958	09/12/1998	6521.193	-1902.71951815812	FER
2451164.58740228	17/12/1998	6528.438	-1571.5355159225	ASI
2451171.1347338	24/12/1998	6527.317	-1622.77875491576	FER
2451172.1768866	25/12/1998	6518.628	-2019.97099721051	FER
2451173.1415394	26/12/1998	6529.208	-1536.33721616801	FER
2451174.2591435	27/12/1998	6523.538	-1795.52469617851	FER
2451175.2444097	28/12/1998	6518.864	-2009.18294689615	FER
2451176.087037	29/12/1998	6527.664	-1606.91666398744	FER
2451177.1547222	30/12/1998	6524.101	-1769.78879648787	FER
2451178.3274537	31/12/1998	6527.471	-1615.73909496488	FER
2451179.1433102	01/01/1999	6517.795	-2058.04915785401	FER
2451180.2944907	02/01/1999	6517.708	-2062.02610860551	FER
2451181.1463773	03/01/1999	6506.507	-2574.04708983964	FER
2451182.1576968	04/01/1999	6512.457	-2302.0602281002	FER
2451183.2990741	05/01/1999	6518.468	-2027.28492962703	FER
2451184.2203472	06/01/1999	6512.473	-2301.32883485857	FER
2451185.2425926	07/01/1999	6519.15	-1996.10929270161	FER
2451186.2529745	08/01/1999	6521.232	-1900.93674713161	FER
2451187.0727778	09/01/1999	6523.012	-1819.56924899781	FER
2451188.2318287	10/01/1999	6513.807	-2240.34892333583	FER
2451188.3584415	09/04/1999	6509.442	-2439.88214207405	ROZ
2451189.2050926	11/01/1999	6523.363	-1803.52430975904	FER
2451190.2455787	12/01/1999	6525.146	-1722.01967539245	FER
2451191.2088079	13/01/1999	6524.865	-1734.86476919897	FER
2451192.1904167	14/01/1999	6507.482	-2529.47781417644	FER
2451193.2370486	15/01/1999	6507.074	-2548.12834183859	FER
2451194.2666435	16/01/1999	6511.025	-2367.51992322811	FER
2451195.73776791	17/01/1999	6512.396	-2304.84866483403	MEX

Tabela 5.4: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\alpha$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451196.2460995	18/01/1999	6517.401	-2076.05971642971	FER
2451196.82166439	18/01/1999	6517.511	-2071.03138789332	MEX
2451197.2812731	19/01/1999	6518.287	-2035.5588156732	FER
2451197.73185641	19/01/1999	6517.998	-2048.76960610057	MEX
2451198.3166667	20/01/1999	6520.541	-1932.52379275545	FER
2451199.2087037	21/01/1999	6520.69	-1925.71269319259	FER
2451199.4575731	20/01/1999	6520.555	-1931.883823669	ASI
2451199.4807442	21/01/1999	6520.711	-1924.75273956289	ASI
2451200.1534375	22/01/1999	6518.368	-2031.85613738733	FER
2451201.3085532	23/01/1999	6523.972	-1775.68565449868	FER
2451206.39038239	27/01/1999	6509.715	-2427.40274488835	ASI
2451210.39302572	31/01/1999	6511.971	-2324.27629781543	ASI
2451215.30222588	05/02/1999	6507.118	-2546.11701042401	ROZ
2451238.62963672	01/03/1999	6512.723	-2289.90081545775	ARG
2451239.24869663	01/03/1999	6497.734	-2975.07914665301	ROZ
2451241.31680676	03/03/1999	6507.433	-2531.717705979	ROZ
2451269.28853839	31/03/1999	6511.855	-2329.5788988174	ASI
2451275.23330165	06/04/1999	6503.785	-2698.47536507571	ROZ
2451277.23401009	08/04/1999	6504.993	-2643.25517533094	ROZ
2451459.8942044	08/10/1999	6508.476	-2484.0400903882	UVE
2451507.60196534	25/11/1999	6525.069	-1725.53950536787	ASI
2451508.59918613	26/11/1999	6526.238	-1672.10208664967	ASI
2451509.63054018	27/11/1999	6527.411	-1618.48181962105	ASI
2451531.55893083	19/12/1999	6519.058	-2000.31480384109	ROZ
2451570.42783482	26/01/2000	6518.595	-2021.47949577139	ASI
2451582.75661909	08/02/2000	6499.65	-2887.4948059652	MEX
2451583.74065787	09/02/2000	6507.142	-2545.01992056156	MEX
2451584.69752041	10/02/2000	6499.343	-2901.52841378939	MEX
2451589.38163376	04/03/2000	6512.383	-2305.44292184287	ASI
2451626.37522515	17/04/2000	6521.896	-1870.58392760305	ASI
2451894.41439332	15/12/2000	6519.885	-1962.51091566319	ROZ
2451896.42346741	17/12/2000	6524.174	-1766.45181482281	ROZ
2451981.33574207	12/03/2001	6527.715	-1604.58534802966	ROZ

Tabela 5.5: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\alpha$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451982.27510613	13/03/2001	6514.091	-2227.36669329648	ROZ
2452005.26985953	05/04/2001	6519.35	-1986.96687718093	ROZ
2452007.32281713	07/04/2001	6513.271	-2264.85059693118	ROZ
2452016.26324534	16/04/2001	6510.825	-2376.66233874875	ROZ
2452925.60029944	13/10/2003	6510.484	-2392.25015721144	ROZ
2453303.5932626	25/10/2004	6521.558	-1886.03460983294	ASI
2453309.56593783	30/10/2004	6512.133	-2316.87094124368	ROZ

Tabela 5.6: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2447904.41458333	12/01/1990	4799.71	-3851.60770129864	ROZ
2447909.4625	17/01/1990	4780.0621	-5100.55507437865	ROZ
2447926.375	03/02/1990	4775.48	-5393.30077814172	ROZ
2447957.30659722	06/03/1990	4764.974	-6066.64380540168	ROZ
2447963.26736111	12/03/1990	4796.532	-4052.92824065388	ROZ
2447965.31041667	14/03/1990	4750.705	-6985.93156173665	ROZ
2447968.30069444	17/03/1990	---	---	ROZ
2447969.29444444	18/03/1990	---	---	ROZ
2447970.29618056	19/03/1990	---	---	ROZ
2447974.32916667	23/03/1990	---	---	ROZ
2447977.28472222	26/03/1990	---	---	ROZ
2447978.35277778	27/03/1990	4776.024	-5358.51578635283	ROZ
2447979.29340278	28/03/1990	4805.706	-3472.49706910911	ROZ
2447985.27777778	03/04/1990	4807.101	-3384.43065789552	ROZ
2448255.40694444	29/12/1990	4850.75	-654.455496572716	ROZ
2448256.37430556	30/12/1990	4850.544	-667.224129912055	ROZ
2448256.51388889	30/12/1990	4851.346	-617.519344116094	ROZ
2448258.32986111	01/01/1991	4851.929	-581.397625562961	ROZ
2448260.46076389	03/01/1991	4841.783	-1211.26865867388	ROZ
2448261.51041667	04/01/1991	4846.418	-923.197297467986	ROZ
2448264.50208333	07/01/1991	4848.275	-807.936843516552	ROZ
2448265.38541667	08/01/1991	4849.4	-738.153173588529	ROZ
2448283.46875	26/01/1991	4850.739	-655.137289390385	ROZ
2448291.37916667	03/02/1991	4848.708	-781.074051066843	ROZ
2448292.39236111	04/02/1991	4848.874	-770.776885520259	ROZ
2448339.30069444	23/03/1991	4852.236	-562.379900730331	ROZ
2448341.30277778	25/03/1991	4849.624	-724.262334564527	ROZ
2448526.59375	27/09/1991	4819.738	-2588.97890300261	ROZ
2448527.58888889	28/09/1991	4821.538	-2476.01491474302	ROZ
2448589.63888889	29/11/1991	4819.953	-2575.48154515199	ROZ
2448590.62951389	30/11/1991	4821.141	-2500.92249946646	ROZ
2448608.52013889	17/12/1991	4817.067	-2756.76049347042	ROZ
2448620.40277778	29/12/1991	4825.188	-2247.20777718921	ROZ

Tabela 5.7: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2448621.55347222	30/12/1991	4825.074	-2254.34884521983	ROZ
2448648.48611111	26/01/1992	4816.658	-2782.4686743381	ROZ
2448649.42604167	27/01/1992	4817.139	-2752.23529983255	ROZ
2448695.30208333	13/03/1992	4819.383	-2611.26787391667	ROZ
2448726.29722222	13/04/1992	4819.517	-2602.85418642577	ROZ
2448726.42777778	13/04/1992	4821.931	-2451.36232766504	ROZ
2448730.59201389	18/04/1992	4816.417	-2797.61905997757	ROZ
2448905.59027778	10/10/1992	4824.071	-2317.19226354673	ROZ
2449019.36805556	31/01/1993	4831.637	-1843.78503600336	ROZ
2449027.31944444	08/02/1993	4821.871	-2455.1258214913	ROZ
2449028.36458333	09/02/1993	4812.338	-3054.27424258233	ROZ
2449031.33333333	12/02/1993	4833.581	-1722.38760455241	ROZ
2449058.3125	11/03/1993	4818.79	-2648.50719786505	ROZ
2449062.35555556	15/03/1993	4822.479	-2416.99341770073	ROZ
2449063.27083333	16/03/1993	4815.774	-2838.04846323768	ROZ
2449317.52852916	26/11/1993	4835.349	-1603.44942497243	ASI
2449318.54687271	27/11/1993	4832.915	-1753.65517105191	ASI
2449382.40291733	29/01/1994	4819.996	-2550.90580112613	ASI
2449383.40395902	30/01/1994	4826.471	-2151.32395812511	ASI
2449408.30292517	24/02/1994	4828.818	-2006.48711093997	ASI
2449669.67847567	13/11/1997	4821.688	-2446.48997435272	ASI
2449733.51883507	16/01/1995	4821.716	-2444.76205286946	ASI
2449797.31218655	20/03/1995	4826.749	-2134.1681662557	ASI
2449798.36130589	21/03/1995	4827.404	-2093.74714584397	ROZ
2449798.36130589	21/03/1995	4826.694	-2137.56229774061	ASI
2450002.63727801	12/10/1995	4817.378	-2712.46645980982	ASI
2450002.63727801	12/10/1995	4818.964	-2614.59205008013	ROZ
2450061.63763575	10/12/1995	4821.266	-2472.53221956456	ASI
2450061.63763575	10/12/1995	4823.032	-2363.54974315682	ROZ
2450342.99652818	16/09/1996	4829.272	-1978.47009831876	MEX
2450342.99652818	16/09/1996	4826.489	-2150.2131514573	ROZ
2450344.00441431	17/09/1996	4826.453	-2152.43476479285	MEX

Tabela 5.8: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2450344.00441431	17/09/1996	4829.125	-1987.5416861058	ROZ
2450345.02019273	18/09/1996	4825.695	-2199.21206780368	ROZ
2450345.02019273	18/09/1996	4820.24	-2535.84819962927	MEX
2450346.00010077	19/09/1996	4827.862	-2065.48328729658	ROZ
2450346.00010077	19/09/1996	4813.617	-2944.5633418989	MEX
2450444.59794073	27/12/1996	4821.608	-2451.42689287628	ASI
2450444.59794073	27/12/1996	4823.246	-2350.34348610629	ROZ
2450465.40184141	16/01/1997	4828.626	-2018.33571539653	ROZ
2450465.40184141	16/01/1997	4816.114	-2790.46977248216	MEX
2450473.43983451	24/01/1997	4827.016	-2117.69120068331	ROZ
2450473.43983451	24/01/1997	4826.469	-2151.44738108816	ASI
2450502.42302669	22/02/1997	4825.364	-2219.63856819494	ROZ
2450502.42302669	22/02/1997	4825.23	-2227.90790672191	ASI
2450766.63240196	14/11/1997	4827.021	-2117.38264327558	ASI
2450766.63240196	14/11/1997	4832.548	-1776.30328477877	ROZ
2450767.62245494	15/11/1997	4828.473	-2027.77757207286	ASI
2450767.62245494	15/11/1997	4831.833	-1820.42699408315	ROZ
2450883.34565478	10/03/1998	4826.796	-2131.26772662308	ASI
2450883.34565478	10/03/1998	4831.645	-1832.02875261348	ROZ
2451131.2355903	14/11/1998	4828.718	-2012.65825909445	FER
2451131.2355903	14/11/1998	4826.794	-2131.39114958619	ROZ
2451132.2061921	15/11/1998	4831.503	-1840.79178299285	FER
2451132.2061921	15/11/1998	4826.794	-2131.39114958619	ROZ
2451132.246331	16/11/1998	4826.761	-2133.42762847713	ROZ
2451133.2233796	16/11/1998	4833.108	-1741.74485511379	FER
2451133.2233796	17/11/1998	4826.723	-2135.77266477585	ROZ
2451134.300081	17/11/1998	4834.163	-1676.63924208432	FER
2451134.300081	18/11/1998	4826.794	-2131.39114958619	ROZ
2451135.2839583	18/11/1998	4835.567	-1589.99632199572	FER
2451135.3700116	19/11/1998	4826.977	-2120.09794846354	ROZ
2451136.2594676	20/11/1998	4826.527	-2147.86811515858	ROZ
2451136.2594676	19/11/1998	4833.061	-1744.64529474642	FER

Tabela 5.9: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451137.3660417	20/11/1998	4826.643	-2140.70958329941	FER
2451137.3660417	21/11/1998	4827.285	-2101.09081214781	ROZ
2451138.2628125	21/11/1998	4833.992	-1687.1919054284	FER
2451138.2833912	22/11/1998	4826.794	-2131.39114958619	ROZ
2451139.2780787	23/11/1998	4826.794	-2131.39114958619	ROZ
2451139.2780787	22/11/1998	4827.039	-2116.27183660778	FER
2451140.2944792	24/11/1998	4828.935	-1999.26686759925	ROZ
2451140.2944792	23/11/1998	4835.449	-1597.278276818	FER
2451141.3156018	25/11/1998	4828.935	-1999.26686759925	ROZ
2451141.3156018	24/11/1998	4834.188	-1675.09645504567	FER
2451142.1503241	26/11/1998	4827.329	-2098.37550695986	ROZ
2451142.1503241	25/11/1998	4837.096	-1495.63946671411	FER
2451143.1507176	26/11/1998	4835.866	-1571.5445890139	FER
2451143.36375	27/11/1998	4825.459	-2213.77597744819	ROZ
2451144.2248264	27/11/1998	4825.575	-2206.61744558902	FER
2451144.3643287	28/11/1998	4828.401	-2032.22079874408	ROZ
2451145.2393403	28/11/1998	4830.421	-1907.56360602403	FER
2451145.3527315	29/11/1998	4830.003	-1933.35900530969	ROZ
2451146.2584375	30/11/1998	4829.736	-1949.83597088208	ROZ
2451146.2584375	29/11/1998	4833.621	-1710.08686508144	FER
2451147.239294	30/11/1998	4832.056	-1806.66533369871	FER
2451147.3007639	01/12/1998	4830.404	-1908.61270121028	ROZ
2451148.1821528	01/12/1998	4833.928	-1691.14144024727	FER
2451148.2721065	02/12/1998	4826.527	-2147.86811515858	ROZ
2451149.2130671	02/12/1998	4826.694	-2137.56229774061	FER
2451149.3585416	03/12/1998	4828.668	-2015.74383317169	ROZ
2451150.1900347	03/12/1998	4834.495	-1656.1510302115	FER
2451150.3231366	04/12/1998	4828.134	-2048.69776431647	ROZ
2451151.2225	04/12/1998	4830.571	-1898.30688379237	FER
2451151.3373958	05/12/1998	4827.862	-2065.48328729658	ROZ
2451152.1776736	05/12/1998	4835.247	-1609.74399608996	FER
2451152.2440741	06/12/1998	4827.862	-2065.48328729658	ROZ

Tabela 5.10: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451153.29824519	07/12/1998	4826.794	-2131.39114958619	ROZ
2451153.2985185	06/12/1998	4837.338	-1480.70528818031	FER
2451154.274537	07/12/1998	4829.15	-1985.99889906721	FER
2451154.274537	08/12/1998	4827.062	-2114.85247253225	ROZ
2451155.2399653	09/12/1998	4826.527	-2147.86811515858	ROZ
2451155.2399653	08/12/1998	4828.966	-1997.35381167137	FER
2451156.1573958	09/12/1998	4828.983	-1996.30471648512	FER
2451156.2839468	18/12/1998	4827.621	-2080.35575434882	ROZ
2451164.58740228	18/12/1998	4837.711	-1457.68690556416	ASI
2451164.58740228	24/12/1998	4838.34	-1418.87038367263	ROZ
2451171.1347338	24/12/1998	4834.406	-1661.64335206896	FER
2451171.1347338	25/12/1998	4826.661	-2139.59877663161	ROZ
2451172.1768866	26/12/1998	4828.801	-2007.53620612622	ROZ
2451172.1768866	25/12/1998	4826.845	-2128.24386402739	FER
2451173.1415394	26/12/1998	4835.966	-1565.37344085942	FER
2451173.1415394	27/12/1998	4829.202	-1982.78990202686	ROZ
2451174.2591435	28/12/1998	4821.633	-2449.88410583769	ROZ
2451174.2591435	27/12/1998	4832.457	-1781.91902959929	FER
2451175.2444097	28/12/1998	4825.431	-2215.50389893145	FER
2451175.2444097	29/12/1998	4822.917	-2370.64656353444	ROZ
2451176.087037	29/12/1998	4834.406	-1661.64335206896	FER
2451176.3608681	30/12/1998	4828.239	-2042.21805875431	ROZ
2451177.1547222	30/12/1998	4831.988	-1810.8617144437	FER
2451177.1547222	31/12/1998	4820.647	-2510.73162664062	ROZ
2451178.3274537	31/12/1998	4834.264	-1670.40638244828	FER
2451178.3274537	01/01/1999	4819.579	-2576.63948893023	ROZ
2451179.1433102	01/01/1999	4826.629	-2141.57354404104	FER
2451179.3608333	02/01/1999	4826.606	-2142.99290811658	ROZ
2451180.2944907	02/01/1999	4827.178	-2107.69394067308	FER
2451180.3659606	03/01/1999	4817.984	-2675.06930199377	ROZ
2451181.1463773	04/01/1999	4825.141	-2233.40022857937	ROZ
2451181.1463773	03/01/1999	4819.077	-2607.61865266557	FER

Tabela 5.11: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451182.1576968	04/01/1999	4825.174	-2231.36374968838	FER
2451182.3056713	05/01/1999	4822.175	-2416.43648284051	ROZ
2451183.2990741	05/01/1999	4826.826	-2129.41638217676	FER
2451183.2990741	06/01/1999	4822.067	-2423.10132284734	ROZ
2451184.2203472	06/01/1999	4825.242	-2227.16736894334	FER
2451184.37424514	07/01/1999	4826.494	-2149.90459404957	ROZ
2451185.2425926	08/01/1999	4828.203	-2044.43967208987	ROZ
2451185.2425926	07/01/1999	4828.647	-2017.03977428411	FER
2451186.2529745	08/01/1999	4830.721	-1889.05016156071	FER
2451186.2529745	09/01/1999	4828.374	-2033.88700874578	ROZ
2451187.0727778	09/01/1999	4831.892	-1816.78601667201	FER
2451187.3525926	10/01/1999	4822.392	-2403.04509134537	ROZ
2451188.2318287	10/01/1999	4825.508	-2210.7521148525	FER
2451188.3376157	11/01/1999	4828.007	-2056.53512247265	ROZ
2451189.2050926	11/01/1999	4831.825	-1820.92068593549	FER
2451189.3474768	12/01/1999	4828.576	-2021.42128947377	ROZ
2451190.2455787	13/01/1999	4828.257	-2041.10725208651	ROZ
2451190.2455787	12/01/1999	4834.039	-1684.29146579583	FER
2451191.2088079	13/01/1999	4833.964	-1688.91982691166	FER
2451191.2088079	14/01/1999	4813.481	-2952.95610338898	ROZ
2451192.1904167	15/01/1999	4808.063	-3287.30891039741	ROZ
2451192.1904167	14/01/1999	4816.553	-2763.37843208407	FER
2451193.2370486	16/01/1999	4821.296	-2470.68087511818	ROZ
2451193.2370486	15/01/1999	4801.398	-3698.61593489193	FER
2451194.2666435	16/01/1999	4822.5	-2396.38025133854	FER
2451194.2666435	17/01/1999	4826.546	-2146.69559700922	ROZ
2451195.73776791	18/01/1999	4819.951	-2553.68281779564	ROZ
2451195.73776791	17/01/1999	4825.743	-2196.2499166895	MEX
2451196.2460995	18/01/1999	4826.719	-2136.01951070202	FER
2451196.2460995	18/01/1999	4826.576	-2144.8442525629	ROZ
2451196.82166439	18/01/1999	4827.165	-2108.49618993315	MEX
2451196.82166439	19/01/1999	4817.284	-2718.26733907501	ROZ

Tabela 5.12: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451197.2812731	19/01/1999	4827.682	-2076.59135397462	FER
2451197.2812731	19/01/1999	4826.605	-2143.05461959813	ROZ
2451197.73185641	20/01/1999	4827.029	-2116.88895142318	ROZ
2451197.73185641	19/01/1999	4828.466	-2028.20955244365	MEX
2451198.3166667	20/01/1999	4828.183	-2045.67390172078	FER
2451198.3166667	21/01/1999	4815.518	-2827.24981548269	ROZ
2451199.2087037	20/01/1999	4826.518	-2148.42351849248	ROZ
2451199.2087037	21/01/1999	4815.785	-2810.7728499103	FER
2451199.4575731	20/01/1999	4821.912	-2432.66660248673	ASI
2451199.4575731	21/01/1999	4822.315	-2407.79687542431	ROZ
2451199.4807442	22/01/1999	4825.588	-2205.81519632894	ROZ
2451199.4807442	21/01/1999	4823.135	-2357.19346055773	ASI
2451200.1534375	22/01/1999	4826.635	-2141.20327515176	FER
2451200.1534375	23/01/1999	4826.472	-2151.26224664355	ROZ
2451201.3085532	23/01/1999	4833.396	-1723.97194842899	FER
2451206.39038239	27/01/1999	4823.654	-2325.16520163609	ROZ
2451206.39038239	27/01/1999	4822.348	-2405.76039653332	ASI
2451210.39302572	31/01/1999	4825.529	-2209.45617374003	ROZ
2451210.39302572	31/01/1999	4825.065	-2238.09030117676	ASI
2451238.62963672	01/03/1999	4826.374	-2157.30997183491	ROZ
2451238.62963672	01/03/1999	4825.745	-2196.12649372644	ARG
2451269.28853839	31/03/1999	4818.896	-2618.78843082517	ASI
2451269.28853839	31/03/1999	4822.52	-2395.14602170762	ROZ
2451459.8942044	08/03/1999	4821.048	-2485.98532254126	UVE
2451459.8942044	08/03/1999	4821.584	-2452.90796843337	ROZ
2451507.60196534	25/11/1999	4834.606	-1649.30105576006	ROZ
2451507.60196534	25/11/1999	4834.113	-1679.7248161615	ASI
2451508.59918613	26/11/1999	4834.917	-1630.10878499966	ROZ
2451508.59918613	26/11/1999	4832.644	-1770.37898255047	ASI
2451509.63054018	27/11/1999	4835.865	-1571.60630049545	ROZ

Tabela 5.13: Wyniki pomiarów maksymalnej prędkości dżetów dla linii $H\beta$ cd.

JD	Data	λ_{obs} [Å]	v_{max} [km/s]	obserwatorium
2451509.63054018	27/11/1999	4835.004	−1624.73988610532	ASI
2451570.42783482	26/01/2000	4829.034	−1993.15743092638	ASI
2451570.42783482	26/01/2000	4831.35	−1850.23363966913	ROZ
2451582.75661909	08/02/2000	4814.079	−2916.05263742534	ROZ
2451582.75661909	08/02/2000	4815.945	−2800.89901286318	MEX
2451583.74065787	09/02/2000	4817.158	−2726.04298574958	MEX
2451583.74065787	09/02/2000	4817.818	−2685.31340793018	ROZ
2451584.69752041	10/02/2000	4817.313	−2716.47770611019	ROZ
2451584.69752041	10/02/2000	4817.428	−2709.38088573258	MEX
2451589.38163376	04/03/2000	4826.104	−2173.97207185192	ROZ
2451589.38163376	04/03/2000	4825.304	−2223.34125708758	ASI
2451626.37522515	22/03/2000	4831.46	−1843.44537669924	ASI
2451626.37522515	17/04/2000	4831.781	−1823.63599112344	ASI
2451626.37522515	22/03/2000	4832.866	−1756.67903364759	ROZ
2451626.37522515	17/04/2000	4834.432	−1660.03885354881	ROZ
2451982.33386557	13/03/2001	4825.338	−2221.24306671509	ROZ
2451982.33386557	13/03/2001	4826.124	−2172.73784222105	ROZ
2453303.5932626	25/10/2004	4825.385	−2218.34262708246	ASI
2453303.5932626	25/10/2004	4828.264	−2040.67527171567	ROZ

Bibliografia

- Bessel, M.S., Castelli, F., Plez, B., 1998, A&A, 337, 321
- Bond, H.E., Pier, J., Pilachowski, C., Slovak, M., Szkody, P., 1984, BAAS, 16, 516
- Dobrzycka, D., Kenyon, S.J., Milone, A.A.E., 1996, AJ, 111, 414
- Droshenko, V.T., Goranskij, V.P., Efimov, Yu.S., 1993, IBVS, 3824
- Gromadzki, M., Tomov, T., Mikołajewski, M., Dapergolas, A., Bellas-Velidis, I., 2005, Searching for flickering variability in several symbiotic stars and related objects: *BX Mon*, *V471 Per*, *RS Oph*, *V627 Cas*, *CI Cam*, *V886 Her*, *Z And*, *T CrB*, *MWC 560*, *V407 Cyg*.
- Janowski, J.Ł., 1999, Szybka zmienność gwiazd symbiotycznych: *CH Cyg*, *MWC 560* i *AG Dra*, praca magisterska, UMK Toruń.
- Luthardt, R., 1991, IBVS, 3563
- Merrill, P.W., Burwell, C.G., 1943, ApJ, 98,153
- Mikołajewska, J., 1997, General properties of symbiotic binary systems in Physical processes in symbiotic binaries and related systems, ed. J. Mikołajewska 1997 (Copernicus Foundation for Polish Astronomy) p.3
- Mikołajewska, J., 2003, Orbital and stellar parameters of symbiotic stars in Symbiotic stars probing stellar evolution, eds. R.L.M. Corradi, J. Mikołajewska, T.J. Mahoney (ASP Conference Series, vol. 303, 2003) p.9
- Mikołajewski, M., Mikołajewska, J., Tomov, T., 1996, IAUS, 165, 451

Mikołajewski, M., Tomov, T., Georgiev, L., Jones, A., 1997, IBVS, 4519

Mikołajewski, M., Janowski, J.L., Tomov, T., Munari, U., Antov, A., Jaones, A., 1998, IBVS, 4598

Panferov, A.A., Fabrika, S.N., Tomov, T., 1997, BSAO, 43, 37-54

Schmid, H.M., Kaufer, A., Camenzind, M., Rivinius, Th., Stahl, O., Szeifert, T., Tubbesing, S., Wolf, B., 2001, A&A 377, 206-240

Thakar, A., Wing, R.E., 1992, BAAS, 24, 801

Tomov, T., Kolev, D., Georgiev, L., Zamanov, R., Antov, A., Bellas, Y., Nature vol. 346 16 August 1990.

Tomov, T., Zamanov, R., Kolev, D., Georgiev, L., Antov, A., Mikołajewski, M., Esipov, V., 1992, MNRAS, 258, 23

Tomov, T., Kolev, D., Michalitsianos, A.G., Mikołajewski, M., Sonneborn, S.N., Maran, S.P., Oliverson, R.J., Sonneborn, G., 1994, MmSAI, 65, 167

Tomov, T., Kolev, D., Munari, U., Sostero, G., Lepardo, A., 1995, A&A, 300, 769

Tomov, T., Kolev, D., Ivanov, M., Antov, A., Jones, A., Mikołajewski, M., Lepardo, A., Paussuello, R., Saccavino, S., Velentinuzzi, Bellas-Velidis, Y.T., Dapergolas, A., Munari, U., 1996, A&AS, 116, 1

Tomov, T., Kolev, D., 1997, A&AS, 122, 43

Tomov, T., Spectroscopic evidence for high velocity bipolar outflows in symbiotic binaries, 2003 in Symbiotic stars probing stellar evolution, eds. R.L.M. Corradi, J. Mikołajewska, T.J. Mahoney (ASP Conference Series, vol. 303, 2003) p.376

Sanduleak, N., Stephenson, C.B., 1973, Apj, 185, 899

Sokoloski, J.L., Bildsten, L., Ho, H.W.G., 2001, MNRAS, 326, 553

Sokoloski, J.L., 2003, JAAVSO, 31, 89

Zhekov, S.A., Hunt, L.K., Tomov, T., Gennari, S., 1996, A&A, 309, 800